

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2351-1
(08/2016)

**Systemes de gestion des réseaux
intelligents pour services collectifs**

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2017

© UIT 2017

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2351-1

**Systèmes de gestion des réseaux intelligents
pour services collectifs**

(2015)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	3
2 Communications et fonctionnalités des réseaux intelligents	4
3 Technologies des réseaux de communication utilisées dans les réseaux de distribution intelligents	5
3.1 Rôle de l'UIT et des organisations de normalisation	6
3.2 Coordination au sein de l'UIT	7
4 Objectifs et avantages des réseaux intelligents.....	8
4.1 Réduction de la demande globale d'électricité grâce à l'optimisation des systèmes.....	8
4.2 Intégration des ressources d'énergies renouvelables et décentralisées	8
4.3 Prise en charge du comptage intelligent	9
4.4 Fourniture d'un réseau résilient.....	10
5 Aperçu de l'architecture de référence pour les réseaux de distribution intelligents	11
6 Normes sur les courants porteurs en ligne et sur les réseaux câblés pour les télécommunications dans les réseaux de distribution intelligents	13
6.1 Communications utilisant les courants porteurs en ligne pour réseaux de distribution intelligents	13
6.2 Communications par réseaux câblés pour les réseaux de distribution intelligents.....	14
7 Normes hertziennes pour les télécommunications dans les réseaux de distribution intelligents	14
7.1 Réseau domestique	14
7.2 Réseaux WAN/NAN/FAN	16
8 Considérations liées aux brouillages associées à la mise en oeuvre de technologies hertziennes ou filaires de transmission de données utilisées pour les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité	17

9	Incidences sur la disponibilité du spectre du déploiement à grande échelle des réseaux filaires et hertziens utilisés pour les systèmes de gestion du réseau de distribution d'électricité.....	19
10	Conclusion.....	20
	Annexe 1 – Exemple de normes existantes concernant les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité.....	20
	A1.1 Normes IEEE.....	20
	A1.2 Normes UIT-T.....	27
	A1.3 Normes 3GPP.....	27
	A1.4 Normes 3GPP2.....	38
	Annexe 2 – Réseaux intelligents en Amérique du Nord.....	41
	A2.1 Introduction.....	41
	A2.2 Objet du déploiement des réseaux intelligents.....	42
	Annexe 3 – Réseaux intelligents en Europe.....	43
	A3.1 Introduction.....	43
	A3.2 Activités européennes menées dans certains Etats Membres.....	44
	Annexe 4 – Réseau intelligent au Brésil.....	46
	A4.1 Introduction.....	46
	A4.2 Secteur brésilien de l'électricité.....	47
	A4.3 Groupe d'étude brésilien sur le réseau intelligent.....	48
	A4.4 Questions liées aux télécommunications.....	48
	A4.5 Données techniques.....	49
	A4.6 Mesures dans la bande d'ondes kilométriques.....	49
	A4.7 Conclusion.....	50
	Référence.....	50
	Annexe 5 – Réseau intelligent en République de Corée.....	50
	A5.1 Feuille de route sur un réseau intelligent en Corée.....	50
	A5.2 Mise au point des technologies.....	52
	Annexe 6 – Réseau intelligent en Indonésie.....	53
	A6.1 Introduction.....	53
	A6.2 Développement du réseau intelligent et questions à résoudre.....	53

Annexe 7 – Activités de recherche sur les technologies d'accès hertzien pour les réseaux intelligents en Chine	55
A7.1 Introduction.....	55
A7.2 Technologie d'accès hertzien pour le réseau intelligent en Chine	55
A7.3 Conclusion	57

1 Introduction

L'expression «réseau intelligent» désigne les systèmes évolués de fourniture de services collectifs (électricité, gaz et eau) depuis les lieux de génération et de production jusqu'aux points de consommation, et couvre tous les systèmes de gestion et administratifs connexes, ainsi que les technologies de l'information numériques modernes intégrées. A terme, l'amélioration de la fiabilité, de la sécurité et de l'efficacité de l'infrastructure de distribution que constituent les réseaux intelligents devrait entraîner une baisse des coûts de fourniture des services collectifs aux usagers.

Les technologies de communication sont très vite devenues un outil essentiel utilisé par de nombreuses entreprises de services collectifs pour mettre en place leur infrastructure de réseaux intelligents. Ces dernières années par exemple, les administrations et les commissions nationales chargées de superviser la production, la distribution et la consommation d'électricité ont pris des engagements afin d'améliorer l'efficacité, le stockage, la sécurité et la fiabilité dans le cadre de l'action qu'elles mènent pour parvenir à réduire la part de la production d'électricité dans les émissions mondiales de gaz à effet de serre, qui est de 40%¹. Les systèmes de réseaux intelligents représentent une technologie essentielle pour y parvenir.

Les principaux objectifs de la mise en place de réseaux intelligents sont les suivants:

- assurer une fourniture sécurisée;
- faciliter le passage à une économie à faible empreinte carbone;
- maintenir des prix stables et abordables.

Les communications sécurisées sont un élément clé du réseau intelligent, sur lequel repose le déploiement de réseaux intelligents parmi les plus grands et les plus évolués en cours aujourd'hui. Par ailleurs, parce qu'il est composé d'une superposition de technologies de l'information, un réseau intelligent est capable d'anticiper et de se rétablir seul, ce qui permet d'éviter les problèmes de manière automatique. Point essentiel du projet de réseaux intelligents, les particuliers et les entreprises doivent être équipés de compteurs intelligents efficaces qui permettent de suivre en temps réel la consommation et de communiquer, également en temps réel, avec les centres de commande des réseaux afin d'adapter la production en fonction de la consommation et de fournir les services au meilleur prix.

¹ The European Commission Smart Grid Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future («EC Smart Grid Vision Report», page 7, Commission européenne, 2006, disponible à l'adresse: <http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf>).

A l'UIT, la mise en oeuvre des réseaux intelligents est devenue intrinsèquement liée aux diverses technologies filaires et hertziennes élaborées pour établir différents types de réseaux². Les services de réseaux intelligents à l'extérieur des habitations comprennent l'infrastructure de comptage évoluée (AMI), la gestion automatique des compteurs (AMM), le relevé automatique des compteurs (AMR) et l'automatisation de la distribution. A l'intérieur des habitations, les applications de réseau intelligent auront pour tâche principale d'assurer des communications relatives au comptage, à la surveillance et à la commande entre le fournisseur de services collectifs, les compteurs intelligents et les appareils électroménagers intelligents (système de chauffage, climatiseur, lave-linge, lave-vaisselle, etc.). Une autre grande application qui devrait voir le jour concerne les communications relatives à la facturation et à la tarification entre les véhicules électriques et les stations de recharge. Grâce aux services de réseau intelligent à l'intérieur d'une habitation, il sera possible de commander de manière granulaire les appareils électroménagers intelligents, de gérer à distance les appareils électriques et d'afficher la consommation et les coûts associés afin de mieux informer les consommateurs et, partant, de les inciter à économiser l'énergie.

2 Communications et fonctionnalités des réseaux intelligents

Le projet de réseaux intelligents prévoit une connectivité ubiquitaire sur toutes les parties des réseaux de distribution de services collectifs, depuis le point d'alimentation du réseau en passant par les centres de gestion des réseaux et jusqu'aux différents locaux et appareils électroménagers. Ces réseaux nécessiteront des flux de données bidirectionnels d'une capacité considérable et une connectivité complexe d'une qualité équivalente à celle de l'Internet. De plus amples renseignements sur les flux de communication qu'il est envisagé de faire circuler sur les réseaux de distribution d'électricité sont présentés dans le document technique de l'UIT "*Applications des émetteurs-récepteurs UIT-T G.9960 et UIT-T G.9961 pour applications de réseaux intelligents: Infrastructure de comptage évoluée, gestion de l'énergie au domicile et dans les véhicules électriques*"³. Afin de mettre davantage en avant les activités liées au projet de réseaux de distribution intelligents au sein de l'UIT-T, les travaux concernant la fourniture d'une connectivité sur les réseaux électriques et la conception de modems CPL pour les applications de réseaux intelligents ont été séparés des travaux plus généraux menés sur les réseaux domestiques dans le cadre de la Recommandation UIT-T G.9960 et se poursuivent désormais dans le cadre des activités relatives aux Recommandations UIT-T de la série G.990x (ex-UIT-T G.9955), c'est-à-dire les Recommandations UIT-T G.9901, G.9902, G.9903, G.9904.

Les réseaux intelligents fourniront l'infrastructure permettant de superposer et de commander les informations, ce qui permettra de créer un réseau de communication et de détection intégré. Grâce à ces réseaux de distribution intelligents, les entreprises de services collectifs comme les clients peuvent mieux maîtriser l'utilisation de l'électricité, de l'eau et du gaz. En outre, les réseaux de distribution des services collectifs fonctionneront avec une efficacité encore jamais atteinte.

Les pays, les instituts de recherche, les commissions, les entreprises et les organisations de normalisation ci-après ont tous identifié des fonctionnalités et des caractéristiques pour les réseaux de distribution et les systèmes de compteurs intelligents:

- les Etats-Unis, qui ont adopté récemment une législation⁴;

² Le Comité IEEE 802 a élaboré des normes spécifiques pour les réseaux intelligents et la connectivité longue distance en extérieur.

³ <http://www.itu.int/pub/T-TUT-HOME-2010/en>.

⁴ Loi sur l'indépendance et la sécurité énergétique de 2007 (Public Law 110-140) (TITLE XIII-SMART GRID). <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-110publ140/pdf/PLAW-110publ140.pdf>.

- le Groupe sur l'interopérabilité des réseaux électriques intelligents (SGIP)⁵;
- l'Electric Power Research Institute (EPRI)⁶;
- l'initiative Modern Grid appuyée par le Département américain de l'énergie⁷;
- la Commission européenne, avec son programme de recherche stratégique⁸;
- le Royaume-Uni, qui a récemment tenu des consultations sur la mise en oeuvre du comptage intelligent⁹;
- la Commission TR51 de la Telecommunications Industry Association, qui s'occupe des réseaux de services collectifs intelligents¹⁰.

3 Technologies des réseaux de communication utilisées dans les réseaux de distribution intelligents

Différents types de réseaux de communication pourront être utilisés pour la mise en oeuvre des réseaux de distribution intelligents. Ces réseaux de communication doivent toutefois offrir une capacité suffisante pour prendre en charge les applications simples et évoluées de réseaux de distribution intelligents qui existent aujourd'hui, ainsi que celles qui seront disponibles dans un avenir proche.

Le réseau électrique est un système de distribution d'un bien marchand dans lequel la durée du cycle entre la production et la consommation du bien (l'électricité) est quasi nulle: la production, la fourniture et la consommation sont presque «toutes» simultanées. Il sera encore plus difficile d'équilibrer la production et la demande avec l'intégration de nouvelles technologies visant à apporter une solution durable aux questions d'indépendance énergétique et de modernisation des réseaux électriques vieillissants – production d'énergie renouvelable, production décentralisée d'énergie, véhicules électriques rechargeables, maîtrise et prise en charge de la demande en énergie, stockage, participation des consommateurs, etc. Pour équilibrer la production et la demande avec un système «juste à temps parfait», il faut intégrer des technologies de protection et de commande supplémentaires pour garantir la stabilité du réseau de distribution, et non se contenter d'ajouter un simple correctif au réseau existant, ce qui constitue un véritable défi sur le plan de la conception étant donné que la production et la charge deviennent aléatoires par nature.

⁵ NISTIR 7761v2 Priority Action Plan 2 Guidelines for assessing wireless standards for Smart Grid applications.

⁶ <http://my.epri.com/portal/server.pt>.

⁷ De plus amples renseignements sur cette initiative appuyée par le Département de l'énergie, qui définit un réseau de distribution moderne ou intelligent sont disponibles à l'adresse: http://www.netl.doe.gov/smartgrid/referenceshelf/whitepapers/Integrated%20Communications_Final_v2_0.pdf.

⁸ EUR 22580 – Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future (EC Strategic Research Agenda), page 62, Commission européenne, 2007.
ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_agenda_en.pdf.

⁹ Le Département de l'énergie et des changements climatiques du Royaume-Uni a tenu des consultations sur la mise en oeuvre du comptage intelligent en 2010-2011 (réf: 10D/732 20/7/2010 – 30/03/2011); les résultats sont disponibles à l'adresse suivante:
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/42742/1475-smart-metering-imp-response-overview.pdf.

¹⁰ <http://www.tiaonline.org/all-standards/committees/tr-51>.

Pour assurer la prise en charge de ces technologies et applications, il faut pouvoir disposer d'un réseau de communication moderne, souple et modulable, dans lequel les fonctions de surveillance et de commande seront étroitement liées. Grâce aux technologies de l'information et de la communication, les compagnies d'électricité pourront, à distance, localiser les pannes, en déterminer la cause et rétablir le courant en moins de temps qu'à l'heure actuelle, ce qui contribuera à améliorer la stabilité du réseau. Les technologies de l'information et de la communication permettront également d'intégrer plus facilement dans le réseau des sources d'énergie renouvelable variables dans le temps et de contrôler la charge du réseau de manière plus précise et plus dynamique, et offriront en outre aux consommateurs des outils pour optimiser leur consommation d'énergie.

Pour atteindre ces objectifs, il faut s'appuyer sur des normes garantissant que les différentes technologies et les différents équipements prenant en charge les communications pour les réseaux de distribution intelligents sont adaptés et ne sont pas en contradiction les uns avec les autres ou avec d'autres systèmes de télécommunication et que les éléments utilisant les fréquences radioélectriques ne brouillent pas les services de radiocommunication.

3.1 Rôle de l'UIT et des organisations de normalisation

Le secteur des télécommunications a un rôle capital à jouer en ce qui concerne les applications des réseaux intelligents; par exemple, l'accès large bande peut être utilisé pour maîtriser la demande en énergie, et les prestataires de services énergétiques en nuage peuvent également intervenir chez leurs clients grâce aux technologies d'accès large bande existantes. En outre, le secteur de l'électronique grand public concevra de nouveaux produits conformes aux nouvelles normes d'efficacité énergétique, qui prendront eux aussi en charge des applications des réseaux électriques intelligents. La convergence des secteurs des télécommunications, de l'énergie et de l'électronique grand public au niveau des applications des réseaux électriques intelligents va stimuler le développement d'un nouvel écosystème de produits. Il faut que cette convergence ait lieu sous les auspices des organisations internationales de normalisation.

La prise en charge de ces applications et la convergence du secteur nécessiteront l'élaboration de nouvelles Recommandations et la modification de Recommandations existantes relatives à tous les aspects des communications à bande étroite et à large bande et de leur gestion sur le réseau électrique, depuis la génération jusqu'à la charge. Les études réalisées à cette fin porteront sur des questions de communication allant de la couche physique aux protocoles de transport ou de couches supérieures sur des réseaux hétérogènes, ainsi que sur la définition d'une architecture de communication et d'exigences pour les réseaux électriques intelligents.

Les applications de ces réseaux étant, par nature, interdisciplinaires, il faudra une coopération très étroite entre les Secteurs de l'UIT (commissions d'études, groupes chargés de l'étude des Questions, groupes spécialisés (FG), activité conjointes de coordination (JCA), initiatives relatives aux normes mondiales (GSI)), ainsi qu'avec les organismes internationaux, les instituts de recherche, les consortiums de l'industrie et d'autres forums participant au projet de réseaux intelligents.

La coordination mondiale concernant les normes applicables aux réseaux de distribution intelligents a lieu dans le cadre de la CEI, qui a élaboré une position stratégique et une feuille de route sur les activités relatives aux réseaux de distribution intelligents¹¹, qui indique les domaines dans lesquels des normes doivent être élaborées et contient des recommandations.

L'UIT-T coopère avec la CEI en soumettant des contributions sur les aspects des réseaux de distribution intelligents se rapportant aux communications. La collaboration est déjà très étroite avec le GT 20 du TC 57 de la CEI et sera étendue à d'autres comités techniques de la CEI et d'autres

¹¹ Voir <http://www.iec.ch/smartgrid>.

organisations extérieures selon qu'il conviendra. Sans un effort important de coordination, il existe un fort risque de duplication des travaux et d'élaboration de normes incompatibles et non interopérables.

3.2 Coordination au sein de l'UIT

Au sein de l'UIT-T, l'étude et l'élaboration des Recommandations relatives au transport dans le réseau d'accès ont lieu dans le cadre de plusieurs commissions d'études (par exemple, les CE 5, 9, 13, 15, 16 et 17). Les initiatives de coordination au sein de l'UIT-T s'appuient sur des informations détaillées qui étaient auparavant centralisées dans le cadre du Groupe spécialisé de l'UIT-T sur les réseaux électriques intelligents, créé par le Groupe consultatif de la normalisation des télécommunications à sa réunion de février 2010 afin de donner aux Commissions d'études de l'UIT-T un cadre commun pour les activités relatives à la normalisation des réseaux intelligents et de collaborer avec les communautés du monde entier s'occupant de réseaux intelligents (par exemple, instituts de recherche, forums, établissements universitaires, organisations de normalisation et groupes du secteur privé). Les objectifs suivants avaient été définis:

- identifier les incidences potentielles sur la normalisation;
- déterminer de futurs sujets d'étude pour l'UIT-T et les actions connexes;
- sensibiliser l'UIT-T et les communautés de normalisation aux nouveaux attributs des réseaux électriques intelligents;
- encourager la collaboration entre l'UIT-T et les communautés s'intéressant aux réseaux électriques intelligents.

Dans le cadre d'une autre initiative, à sa réunion de janvier 2012, le GCNT a créé un groupe spécial appelé Activité conjointe de coordination sur les réseaux électriques intelligents et les réseaux domestiques (JCA-SG&HN), afin de coordonner les activités au sein de l'UIT-T. Cette Activité, qui a remplacé l'ancienne JCA sur les réseaux domestiques (JCA-HN), avait pour objet de coordonner, au sein et à l'extérieur de l'UIT-T, les travaux de normalisation concernant, d'une part, tous les aspects liés au réseau et aux communications pour les réseaux électriques intelligents et, d'autre part, les réseaux domestiques. Elle a achevé ses travaux en juin 2013 et, depuis, la coordination sur les «réseaux électriques intelligents et les réseaux domestiques» se fait dans le cadre de la CE 15 de l'UIT-T, qui sert de point central pour la coordination à l'UIT-T.

En outre, la CE 15 de l'UIT-T participe actuellement aux initiatives ci-après consacrées à des questions ayant un lien avec les réseaux intelligents:

- [activité conjointe de coordination sur l'Internet des objets \(JCA-IoT\)](#)
- [activité conjointe de coordination sur les TIC et les changements climatiques \(JCA-ICT-CC\)](#)
- [groupe spécialisé sur les communications de machine à machine \(FG-M2M\)](#)
- [collaboration sur les normes de communication pour les systèmes de transport intelligents \(ITS\)](#)

Le rôle de l'UIT-R est de suivre les activités et d'intervenir s'il y a lieu pour faire en sorte que les initiatives portant sur l'utilisation des fréquences et la puissance radioélectrique pour la prise en charge des communications des réseaux de distribution intelligents n'aboutissent pas à des perturbations ou à une dégradation du fonctionnement des services de radiocommunication, étant donné que l'implantation du réseau électrique suit étroitement la répartition de la population qui doit pouvoir accéder sans entrave aux services de radiocommunication.

Les activités menées en parallèle à l'UIT-R concernant les technologies de communication pour réseaux intelligents relèvent de la nouvelle Question UIT-R 236/1, «Incidences sur les systèmes de radiocommunication des technologies de transmission de données hertziennes ou filaires utilisées pour les systèmes de gestion des réseaux de distribution électrique», dont l'étude a été confiée à la Commission d'études 1 de l'UIT-R.

4 Objectifs et avantages des réseaux intelligents

4.1 Réduction de la demande globale d'électricité grâce à l'optimisation des systèmes

Les systèmes de distribution d'électricité en place au niveau local sont conçus pour fournir de l'énergie et l'envoyer dans un sens, mais ils n'ont pas les capacités intelligentes leur permettant d'optimiser la fourniture. De ce fait, les entreprises de distribution d'énergie doivent mettre en place une capacité de production suffisante pour faire face aux pics de consommation d'énergie, bien que ces pics ne se produisent que quelques jours par an et que la demande moyenne soit largement inférieure. Dans la pratique, cela signifie que les jours où on attend une demande supérieure à la moyenne, les entreprises de distribution d'énergie redémarreront des générateurs peu utilisés, moins efficaces et plus coûteux.

L'Union européenne, le Congrès des Etats-Unis¹², l'Agence internationale de l'énergie¹³ ainsi que de nombreux chercheurs et de nombreuses entreprises de services collectifs sont convaincus que les réseaux intelligents représentent une technologie essentielle pour améliorer la fiabilité et réduire l'impact environnemental de la consommation d'électricité. Selon les estimations de l'EPRI, la distribution d'électricité par des réseaux intelligents pourrait permettre de réduire la consommation d'électricité de 5 à 10% et les émissions de dioxyde de carbone de 13 à 25%¹⁴.

4.2 Intégration des ressources d'énergies renouvelables et décentralisées

La connectivité et les communications de réseaux intelligents offrent une solution au problème du traitement de l'électricité autoproduite. Du fait de l'augmentation du prix de l'énergie et d'une prise de conscience des enjeux écologiques, les particuliers et les entreprises sont de plus en plus nombreux à produire leur propre électricité à partir d'énergies renouvelables, comme le vent ou le soleil. Ainsi, il était souvent coûteux et difficile, voire impossible, de raccorder ces sources décentralisées d'énergie renouvelable aux réseaux de distribution. En outre, même lorsqu'on parvenait à réinjecter cette énergie renouvelable dans le réseau, les réseaux de distribution, où que l'on soit dans le monde, n'avaient aucun moyen d'anticiper ce reflux d'énergie ou d'y faire face. Les techniques faisant appel à la facturation nette contribueront à l'intégration de sources d'énergies renouvelables disparates dans le réseau. La production et la distribution décentralisées d'énergie sont au nombre des nouvelles fonctionnalités prises en charge par les réseaux intelligents.

Les réseaux intelligents offrent la solution en indiquant au centre de commande la quantité d'énergie requise et la quantité d'énergie autoproduite envoyée dans le réseau. La capacité de production principale peut ensuite être adaptée pour tenir compte de cet afflux supplémentaire au moment de répondre à la demande. Grâce aux réseaux intelligents qui permettent cette adaptation en temps réel, les entreprises de services collectifs peuvent éviter les problèmes liés à la nature imprévisible des sources d'énergies renouvelables. Selon le rapport élaboré récemment par Energy and Environmental Economics, Inc. (E3) et EPRI Solutions, Inc. pour la Commission de l'énergie de Californie, ce type de stockage d'électricité décentralisé pouvant être géré en temps réel (comme les batteries ou les

¹² Par exemple, une loi fédérale adoptée récemment aux Etats-Unis, à savoir la Loi sur l'indépendance et la sécurité énergétiques de 2007 (Public Law 110-140), indique que la mise en œuvre de systèmes de réseaux intelligents est la stratégie appliquée par les Etats-Unis pour moderniser le réseau électrique, et impose aux autorités et aux régulateurs au niveau fédéral comme au niveau des Etats de prendre des mesures spécifiques pour appuyer la mise en œuvre d'un réseau intelligent.

¹³ Agence internationale de l'énergie, Energy Technology Perspectives, 2008, page 179.

¹⁴ Voir Electricity Sector Framework for the Future: Achieving the 21st Century Transformation, page 42, Electric Power Research Institute (août 2003) («EPRI Report»), disponible à l'adresse: http://www.globalregulatorynetwork.org/PDFs/ESFF_volume1.pdf.

véhicules électriques) coûterait près de 90% plus cher sur un équipement analogue qui ne serait pas raccordé à un réseau intelligent¹⁵.

4.3 Prise en charge du comptage intelligent

Le comptage intelligent est l'une des applications pour les systèmes de gestion des réseaux d'électricité. Les fonctions correspondantes sont les suivantes:

- infrastructure de comptage évoluée (AMI);
- gestion automatique des compteurs (AMM); et
- relevé automatique des compteurs (AMR).

On trouvera ci-après une liste d'exemples de bandes utilisées pour les systèmes hertziens de gestion des réseaux d'électricité dans certaines parties du monde.

TABLEAU 1

Exemples de bandes utilisées pour les systèmes hertziens de gestion des réseaux d'électricité

Fréquence (MHz)	Zone/région	Observations concernant l'utilisation effective
40-230 (partie de), 470-694/698	Amérique du Nord, Royaume-Uni, Europe, Afrique et Japon	Espaces blancs de la télévision, les règles ont été établies aux Etats-Unis et au Royaume-Uni et sont en cours d'élaboration en Europe.
169,4-169,8125	Europe	M-Bus hertzien
220-222	Certaines parties de la Région 2 de l'UIT	Dans la Région 1 de l'UIT et en Iran, cette gamme fait partie de la bande utilisée pour la radiodiffusion de Terre conformément à l'Accord GE06; n'est pas utilisée par les systèmes AMR/AMI.
223-235	Chine	Bande soumise à licence
410-430	Parties de l'Europe	
450-470	Amérique du Nord, parties de l'Europe	
470-510	Chine	Bande utilisée par les dispositifs à courte portée (SRD)
470-698	Amérique du Nord et Europe	Dans la Région 1 de l'UIT et en Iran, cette gamme fait partie de la bande utilisée pour la radiodiffusion de Terre conformément à l'Accord GE06; n'est pas utilisée par les systèmes AMR/AMI.
779-787	Chine	
868-870	Europe	Recommandation 70-03 du Comité européen des radiocommunications (ERC)
873-876	Parties de l'Europe	Recommandation ERC 70-03
896-901	Amérique du Nord	Bande soumise à licence, Partie 90 aux Etats-Unis.

¹⁵ Commission de l'énergie de Californie sur la valeur de l'automatisation de la distribution, «[California Energy Commission Public Interest Energy Research Final Project Report](#)», page 95 (avril 2007) (CEC Report).

TABLEAU 1 (*fin*)

Fréquence (MHz)	Zone/région	Observations concernant l'utilisation effective
901-902	Amérique du Nord	Bande soumise à licence, Partie 24 aux Etats-Unis.
902-928	Amérique du Nord, Amérique du Sud, Australie	Bande ISM sans obligation de licence. En Australie, seule la moitié supérieure de la bande est attribuée.
915-921	Parties de l'Europe	Recommandation ERC 70-03
917-923,5	Corée	
920-928	Japon	
920-928	Japon	
928-960	Amérique du Nord	Bande soumise à licence, Parties 22, 24, 90 et 101 aux Etats-Unis.
950-958	Japon	Partagée avec les systèmes RFID passifs.
1 427-1 518	Etats-Unis et Canada	Dans des parties de la Région 1, à savoir en Europe: <ul style="list-style-type: none"> – Il est prévu d'utiliser la gamme 1 452-1 479,2 MHz pour la radiodiffusion de Terre conformément à l'accord Ma02revCO07 (enregistré à l'UIT en tant qu'accord régional) et pour le service mobile pour la capacité additionnelle de liaisons descendantes uniquement, conformément à la décision pertinente de la CE. – La gamme 1 492-1 518 MHz est utilisée pour les microphones sans fil conformément à l'Annexe 10 de la Recommandation ERC 70-03. – N'est pas utilisée pour les systèmes AMR/AMI.
2 400-2 483,5	A l'échelle mondiale	
3 550-3 700	Etats-Unis	Licences régionales
5 250-5 350	Amérique du Nord, Europe, Japon	
5 470-5 725	Amérique du Nord, Europe, Japon	
5 725-5 850	Amérique du Nord	Bande ISM sans obligation de licence

Les technologies de la famille cdma2000 multiporteuses du 3GPP2 peuvent également être utilisées pour les applications de gestion du réseau électrique. Les bandes à utiliser sont définies dans la norme 3GPP2 C.0057-E v1.0 – Spécification des classes de bandes pour les systèmes à étalement de spectre cdma2000.

4.4 Fourniture d'un réseau résilient

La technologie de télédétection installée le long des lignes électriques permet aux opérateurs de réseau de recueillir des informations en temps réel sur l'état de leur réseau. Les fournisseurs d'infrastructures nationales essentielles peuvent ainsi à la fois éviter les pannes avant même qu'elles se produisent et, si un incident se produit malgré tout, localiser rapidement et avec précision l'endroit concerné. Le réseau intelligent utilise pour ce faire une série d'outils logiciels qui recueillent et analysent des données fournies par des capteurs qui sont répartis sur l'ensemble du réseau de distribution d'électricité et indiquent les points où la qualité de fonctionnement est moins bonne. Les

entreprises de distribution peuvent optimiser leur programme de maintenance afin de prévenir les ruptures et envoyer rapidement des techniciens sur place en cas d'incident, sans qu'il soit nécessaire que les consommateurs signalent des problèmes. Ces dernières années, après deux pannes générales d'électricité très médiatisées en Amérique du Nord et en Europe, la sécurité des réseaux électriques est devenue une question politique et le réseau étant vieillissant, le nombre de pannes, et donc de coupures pour les utilisateurs finals, ne fera qu'augmenter. Les réseaux intelligents fourniront un véritable outil dans cet effort constant de contrôle.

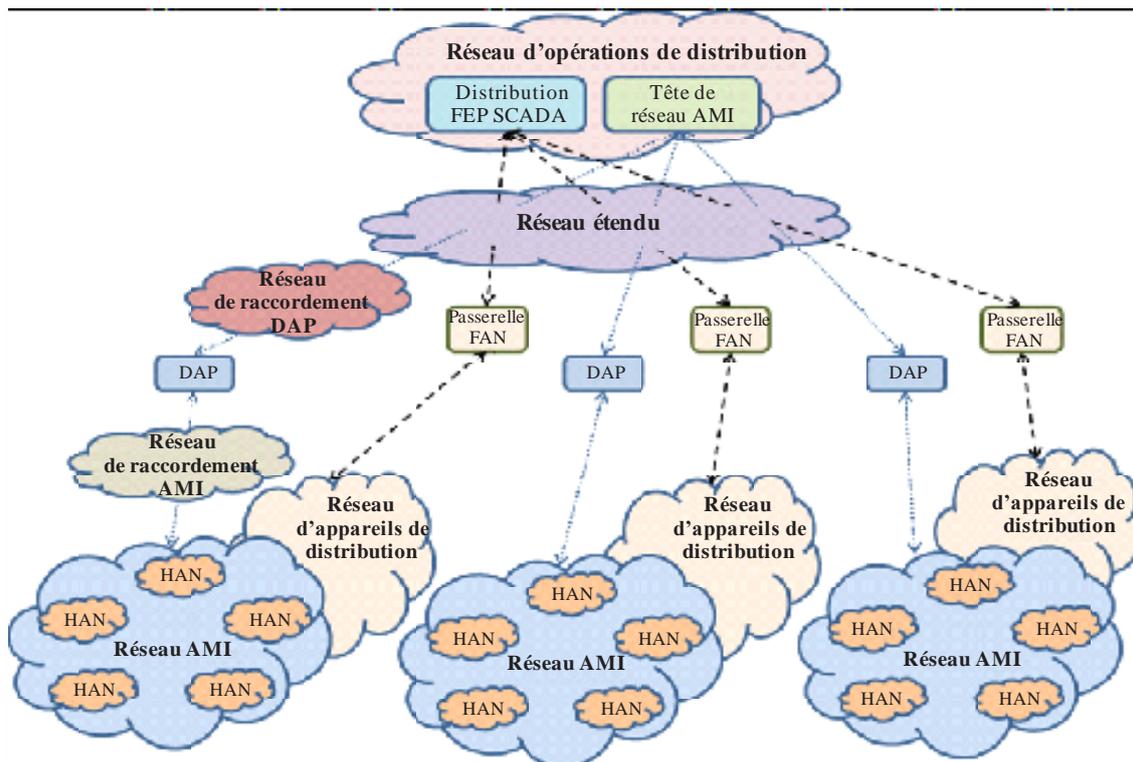
5 Aperçu de l'architecture de référence pour les réseaux de distribution intelligents

On trouvera ci-après un exemple d'architecture de référence pour réseaux intelligents, dans lequel sont représentés les éléments suivants¹⁶:

- Réseau domestique (HAN) – Réseau d'appareils de gestion de l'énergie, d'équipements électroniques numériques grand public, d'appareils électroménagers commandés ou activés par un signal et d'applications dans un environnement domestique qui constitue l'extrémité domicile du compteur électrique.
- Réseau de jonction extérieure (FAN) – Réseau conçu pour assurer la connectivité aux appareils d'acquisition des données sur le terrain. Le réseau FAN peut assurer une connectivité à la sous-station située en amont des appareils d'acquisition de données sur le terrain ou une connectivité qui permet d'éviter les sous-stations et de relier les appareils d'acquisition de données sur le terrain pour former un système de gestion et de commande centralisées (appelé communément système SCADA).
- Réseau de proximité (NAN) – Système réseau visant à assurer une connectivité directe avec les dispositifs terminaux des réseaux intelligents dans une zone géographique relativement petite. Dans la pratique, un réseau NAN peut couvrir quelques pâtés de maison dans un environnement urbain ou des zones de plusieurs kilomètres carrés dans un environnement rural.
- Réseau étendu (WAN).
- Point d'agrégation des données (DAP) – Ce dispositif est un acteur logique qui correspond, dans la plupart des réseaux AMI, à la limite entre les réseaux étendus et les réseaux de proximité (par exemple collecteur, relais de cellule, station de base, point d'accès, etc.).
- Infrastructure de comptage évoluée (AMI) – Système réseau conçu spécialement pour prendre en charge une connectivité bidirectionnelle aux compteurs d'électricité, de gaz et d'eau, et plus particulièrement aux compteurs AMI et, éventuellement, à l'interface des services d'énergie de l'entreprise de services collectifs.
- Surveillance et acquisition de données (SCADA) – Systèmes utilisés pour contrôler au quotidien les opérations du réseau de distribution d'électricité et mener des activités de surveillance selon les besoins.
- Processeur frontal (FEP) – Appareil servant de conduit principal pour envoyer les commandes provenant du système DMS/SCADA et recevoir les informations envoyées par les appareils déployés sur le terrain dans le réseau de distribution.

¹⁶ Les définitions et la figure sont tirées de la norme [NISTIR 7761 \(12 juillet 2013\)](#).

FIGURE 1
Exemple d'organisation d'un réseau intelligent



Report SM.2351-01

Une norme hertzienne donnée peut être appliquée dans plus d'une de ces zones. En outre, dans certaines applications, certaines liaisons peuvent être assurées grâce à des solutions filaires.

Différents points de vue ont été exprimés (par exemple à l'occasion des consultations tenues par le Département de l'énergie et des changements climatiques du Royaume-Uni¹⁷) sur la question de savoir si les fréquences utilisées pour les composantes hertziennes des communications de réseaux intelligents devraient être situées dans des bandes attribuées et protégées à cette fin ou dans des bandes dont l'utilisation n'est pas réglementée (par exemple utilisées sans licence). Il est à noter que, dans plusieurs pays, les données relatives à la tarification et à la facturation sont considérées comme des données personnelles et sont par conséquent soumises à une protection stricte dans le cadre de la législation applicable à la protection des données.

De nombreuses technologies hertziennes assurent une sécurité et une confidentialité élevées pour protéger les données des utilisateurs dans les applications de réseaux intelligents. Par exemple, les normes IEEE 802 offrent des fonctionnalités de confidentialité et de sécurité très robustes au niveau de la liaison, qui permettent de protéger les données personnelles dans les réseaux câblés et hertziens (que les bandes soient utilisées avec ou sans licence); de même, les technologies élaborées par le 3GPP fournissent des moyens pour assurer l'autorisation, l'authentification, la confidentialité et la sécurité à l'échelle du réseau.

¹⁷ http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/consultations/smart_mtr_imp/smart_mtr_imp.aspx.

6 Normes sur les courants porteurs en ligne et sur les réseaux câblés pour les télécommunications dans les réseaux de distribution intelligents

Les réseaux intelligents s'appuieront à la fois sur les technologies filaires et les technologies hertziennes pour offrir la connectivité et les voies de communication nécessaires pour traiter les énormes flux de données liés aux réseaux de distribution de services collectifs.

6.1 Communications utilisant les courants porteurs en ligne pour réseaux de distribution intelligents

On a tout d'abord examiné la possibilité d'utiliser les courants porteurs en ligne (CPL), au motif simple que les lignes électriques offrent une connectivité ubiquitaire à tous les éléments du réseau de distribution d'électricité et que les signaux de données nécessaires pourraient être transmis de bout en bout sur ces lignes électriques. Cette solution ne tenait pas compte de certains points importants tels que l'affaiblissement et le bruit le long des lignes électriques, la manière d'aiguiller les signaux dans le réseau et, point essentiel, l'intégrité des données.

Le Secteur UIT-T a décidé de s'intéresser aux CPL car il considérait que même si les câbles du réseau électrique étaient de plus en plus utilisés pour transmettre les données, les lignes électriques n'étaient ni conçues ni organisées pour les communications. En particulier, l'UIT-T avait des réserves quant aux câbles non protégés et non torsadés utilisés pour acheminer l'électricité, qui sont sujets à de nombreux types de brouillages importants¹⁸; en outre, de nombreux appareils électriques sont à l'origine de bruit sur les câbles.

En raison de la sensibilité des courants porteurs en ligne aux brouillages entrants, des technologies évoluées de communication et d'atténuation du bruit ont été mises au point par la Commission d'études 15 de l'UIT-T pour les applications CPL à vocation générale dans le cadre des travaux relatifs aux Recommandations UIT-T de la série G.9960 depuis 2010. Plus récemment, l'UIT-T a élaboré un ensemble de technologies pour les communications par courants porteurs en ligne à bande étroite (CPL-BE) (décrites dans les Recommandations UIT-T de la série G.990x ((UIT-T G.9901, UIT-T G.9902, UIT-T G.9903, UIT-T G.9904), ex-UIT-T G.9955), conçues spécifiquement pour prendre en charge la connectivité et les communications des réseaux intelligents. Deux de ces Recommandations (UIT-T G.9903 et UIT-T G.9904) ont été mises en oeuvre avec succès sur le terrain dans plusieurs pays en Europe, en Asie et dans la région Amériques. L'Association de normalisation IEEE a élaboré des normes mettant à profit les courants porteurs en ligne pour les applications de réseaux intelligents (par exemple la norme IEEE 1901.2-2013).

Les gammes de fréquences définies pour les courants porteurs en ligne à bande étroite dans les Recommandations UIT-T de la série G.990x (ex UIT-T G.9955) (voir le Tableau 2 – UIT-T G.9901, UIT-T G.9902, UIT-T G.9903, UIT-T G.9904) sont celles déjà identifiées pour les courants porteurs en ligne en Europe par la CENELEC¹⁹ et la CEPT²⁰, aux Etats-Unis par la FCC et au Japon par l'ARIB. En outre, les limites fixées pour les perturbations par conduction et par rayonnement dans les Recommandations UIT-T de la série G.990x sont conformes à la norme CEI CISPR 22, «*Appareils de traitement de l'information – Caractéristiques des perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*», ainsi qu'à la norme CENELEC EN 50065-1 (2011) pour les fréquences au-dessous de 148,5 kHz.

¹⁸ Voir le § 5.1.2 du tutoriel de l'UIT-T: <http://www.itu.int/pub/T-TUT-HOME-2010/en>.

¹⁹ [Comité européen de normalisation électrotechnique.](#)

²⁰ [Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications.](#)

TABLEAU 2

**Recommandations UIT-T relatives aux communications pour
les réseaux de distribution intelligents**

Numéro de la Recommandation	Titre de la Recommandation
UIT-T G.9901	Émetteurs-récepteurs de courants porteurs en ligne avec multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) à bande étroite – Spécification de la densité spectrale de puissance
UIT-T G.9902	Émetteurs-récepteurs OFDM à bande étroite utilisant les courants porteurs en ligne – G.hnem
UIT-T G.9903	Émetteurs-récepteurs OFDM à bande étroite utilisant les courants porteurs en ligne – G3-PLC
UIT-T G.9904	Émetteurs-récepteurs OFDM à bande étroite utilisant les courants porteurs en ligne – PRIME
UIT-T G.9905	Routage selon la source basé sur des indicateurs centralisés
UIT-T G.9959	Émetteurs-récepteurs de radiocommunication numériques à bande étroite à courte portée – Spécifications des couches PHY et MAC

Les gammes de fréquences utilisées dans les Recommandations UIT-T de la série G.990x pour les courants porteurs en ligne à bande étroite/les réseaux intelligents reposent par conséquent sur les bonnes pratiques visant à éviter les incompatibilités avec les services de radiocommunication, que pourrait causer le déploiement ubiquitaire des courants porteurs en ligne pour les communications des réseaux intelligents. Toutefois, d'autres organisations de normalisation et groupes du secteur privé en dehors de l'UIT s'intéressent à l'élaboration de produits CPL pour les applications de réseaux intelligents, d'où la possible nécessité de tenir dûment compte des exigences de compatibilité.

6.2 Communications par réseaux câblés pour les réseaux de distribution intelligents

Outre les courants porteurs en ligne, des solutions à câbles classiques, comme la fibre optique et les fils de cuivre, sont fréquemment utilisées pour les réseaux étendus lorsqu'il existe un droit de passage.

Ces liaisons peuvent être déployées directement par le fournisseur de services collectifs sur les équipements de transmission et de distribution, enterrées dans des tranchées ou des conduits le long du droit de passage ou louées auprès d'exploitants de télécommunication.

Le fonctionnement du réseau local Ethernet IEEE Std 802.3 est défini pour différents débits, allant de 1 Mbit/s à 100 Gbit/s sur différents supports à fibres optiques ou à fils de cuivre à usage séparé dédié pour différentes distances:

- Réseaux EPON IEEE 802.3
- Réseau Ethernet IEEE 802.3 pour le premier kilomètre.

Les liaisons Ethernet filaires doivent généralement être conformes aux codes locaux et nationaux applicables à la limitation du brouillage électromagnétique dans le cas de systèmes n'émettant pas.

7 Normes hertziennes pour les télécommunications dans les réseaux de distribution intelligents

7.1 Réseau domestique

Différentes solutions de réseau utilisant des liaisons filaires ou hertziennes sont déjà déployées pour les réseaux HAN, en fonction des besoins en termes de consommation d'énergie, de débit, de mobilité

et de coûts d'installation. Les réseaux HAN utilisant des solutions filaires les plus courants sont ceux reposant sur la norme IEEE 802.3 (Ethernet); pour ce qui est des solutions hertziennes, les normes IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.15.4 (ZigBee, Thread, Wi-SUN EchoNet HAN) et UIT-T G.9959 (Z-Wave) sont les plus utilisées.

Les technologies hertziennes peuvent permettre de mettre en place des réseaux intelligents pour tous les types de services collectifs et être facilement raccordées directement à une infrastructure IP lorsqu'il n'est pas possible, pour des raisons de sécurité électrique ou des considérations juridiques, de procéder directement à un raccordement câblé, ce qui peut être le cas pour les compteurs de gaz ou d'eau.

La Recommandation UIT-T G.9959, «Émetteurs-récepteurs de radiocommunication numériques à bande étroite à courte portée» a été élaborée à l'UIT-T, en vue de fournir une fonctionnalité de réseau local hertzien à bande étroite adaptée aux applications de réseaux intelligents. Au début du travail de rédaction de cette Recommandation, l'UIT-R et l'UIT-T ont discuté des bandes de fréquences qu'il convenait d'utiliser pour ces applications. Il s'agissait de déterminer les avantages et les inconvénients liés à l'identification de fréquences dans des bandes assujetties, d'une manière ou d'une autre, à des dispositions réglementaires établies par les administrations ou dans des bandes désignées pour les applications ISM ou désignées, au niveau régional ou national, pour une utilisation non réglementée, c'est-à-dire sans obligation d'obtenir une licence. Les discussions ont porté pour l'essentiel sur des questions de sécurité et de fiabilité, étant donné que les communications de réseaux intelligents pourraient contenir des données concernant la facturation et des données personnelles, alors que les bandes sont disponibles pour différentes utilisations non réglementées.

Plusieurs fréquences situées dans des bandes au voisinage de 900 MHz, dont l'utilisation n'est plus réglementée aux niveaux national et régional, ont été recommandées comme pouvant être utilisées dans le cadre de la Recommandation UIT-T G.9959; parmi ces fréquences, seulement deux, dans la Région 2, se trouvent dans une bande désignée pour les applications ISM. L'une des exigences concernant la conception des émetteurs-récepteurs UIT-T G.9959 est qu'ils devraient prendre en charge 1, 2 ou 3 canaux (chaque canal étant associé à une fréquence centrale) en fonction de la disponibilité des canaux dans la région ou dans le pays concerné.

En ce qui concerne le choix et l'adéquation de fréquences à l'échelle mondiale pour les équipements UIT-T G.9959, l'exigence fondamentale pour ces équipements est qu'ils soient rétrocompatibles avec la technologie Z-Wave²¹, qui est exploitée sur le terrain depuis plus de dix ans. Lorsqu'on envisagera d'assigner de nouvelles fréquences destinées à être utilisées par les équipements UIT-T G.9959, il conviendrait de tenir compte du fait que les futurs produits fondés sur la Recommandation UIT-T G.9959 pourraient devenir incompatibles avec les appareils Z-Wave existants et, de ce fait, empêcher ces nouveaux appareils UIT-T G.9959 de profiter de l'important écosystème interopérable déjà en place. Les futurs besoins de spectre pour les équipements UIT-T G.9959 et les technologies analogues utilisées avec les réseaux de distribution intelligents pourraient devenir une question importante à la CMR-23 au titre du point 2.5 de l'ordre du jour.

Il convient en outre de noter que les systèmes IEEE 802.11 et IEEE 802.15.4 sont largement déployés pour les applications HAN et que les systèmes UIT-T G.9959 comme les systèmes IEEE 802.15.4 peuvent utiliser les techniques de sauts de fréquences et de routage maillé lorsque la transmission en portée directe n'est pas possible à cause d'une distance trop longue, de l'affaiblissement, de la

²¹ La technologie Z-Wave est une technologie hertzienne à faible consommation d'énergie et peu coûteuse permettant de proposer des produits grands publics avec des fonctionnalités de mise en réseau (par exemple variateurs de lumière commandés à distance, capteurs de température en réseau, serrures électroniques et systèmes audiovisuels). Les nœuds Z-Wave doivent fonctionner dans les bandes de fréquences pouvant être utilisées sans licence comme les bandes ISM (http://www.z-wave.com/what_is_z-wave).

distorsion ou de brouillages temporaires. Ces techniques permettent de renforcer la robustesse des systèmes lorsqu'ils fonctionnent dans des bandes utilisées sans licence.

En plus des considérations liées à la gestion du spectre et à la compatibilité qui relèvent de l'UIT-R, des questions concernant les aspects juridiques, la vie privée et la sécurité devront également être examinées dans les cadres compétents du point de vue de l'intégrité des appareils hertziens utilisés dans les réseaux intelligents. Ces considérations peuvent avoir un lien avec l'identification de fréquences à utiliser pour les communications hertziennes de réseaux intelligents – en particulier avec la nécessité d'éviter les interceptions, les usurpations d'identité, la corruption des données ou la perte des données de facturation ou de tarification.

Toutes les normes hertziennes citées dans la présente section prévoient un chiffrement pour assurer la confidentialité et la sécurité. Le risque de brouillage est inévitable en cas de fonctionnement dans des bandes qui ne sont pas soumises à des dispositions réglementaires, par exemple à des licences individuelles. En général, les applications HAN n'exigent pas une grande fiabilité. Il est préférable que les applications WAN et FAN utilisant des connexions hertziennes qui exigent une grande fiabilité et une grande disponibilité fonctionnent dans des bandes assujetties à des licences individuelles, à des normes obligatoires ou à d'autres formes de réglementation.

7.2 Réseaux WAN/NAN/FAN

Les réseaux de communication WAN/NAN/FAN ont en commun de devoir être capables d'acheminer des données sur des distances relativement longues (quartiers, villes) vers des centres d'opération. Ils peuvent desservir directement le noeud d'extrémité ou servir de liaisons de raccordement. Le type de solution choisie dépend de nombreuses considérations, parmi lesquelles:

- la longueur de la liaison;
- la disponibilité d'un droit de passage (pour les solutions par câble);
- la capacité de la liaison;
- les dispositifs non alimentés sur secteur;
- la disponibilité;
- la fiabilité;
- les éventuelles dispositions réglementaires s'appliquant à l'utilisation du spectre (avec ou sans licence).

Le Comité IEEE 802 s'occupant des normes relatives aux réseaux LAN/MAN a élaboré plusieurs normes hertziennes qui sont actuellement utilisées pour prendre en charge les applications de réseaux intelligents.

Ces solutions sont les suivantes:

- Normes hertziennes prenant en charge des systèmes hertziens point à multipoint:
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.16
 - IEEE 802.20
 - IEEE 802.22
- Normes hertziennes prenant en charge des systèmes hertziens pour réseaux maillés:
 - IEEE 802.15.4
 - IEEE 802.11

D'autres technologies de communication hertziennes peuvent contribuer à répondre aux exigences des réseaux intelligents, comme les technologies cellulaires ou la radiodiffusion sonore. Les réseaux cellulaires relevant du 3GPP (GSM/EDGE, WCDMA/HSPA et LTE), qui fournissaient au départ des services téléphoniques, ont évolué et assurent aujourd'hui un large éventail d'applications de données, avec prise en charge intégrée de la sécurité et de la qualité de service. Dans des éditions récentes de normes 3GPP, des améliorations ont été apportées du point de vue de la normalisation des communications de type machine (MTC), avec la prise en charge de la gestion des encombrements, un allongement de la durée de vie des batteries des appareils et la simplification de la prise en charge des dispositifs. Les compteurs intelligents offrent des fonctions de surveillance et de commande individuelles assurées grâce à la technologie GSM. En outre, depuis plusieurs dizaines d'années, les réseaux de radiodiffusion à modulation de fréquence aux Etats-Unis et le service de radiodiffusion à 198 kHz en ondes kilométriques couvrant tout le territoire du Royaume-Uni sont utilisés pour transmettre des sous-porteuses sans signal audio qui permettent de passer simplement, dans des zones étendues, d'un tarif à l'autre en fonction de la consommation. Le Comité IEEE 802 s'occupant des normes relatives aux réseaux LAN/MAN a élaboré plusieurs normes qui sont actuellement utilisées pour prendre en charge les applications de réseaux intelligents.

8 Considérations liées aux brouillages associées à la mise en oeuvre de technologies hertziennes ou filaires de transmission de données utilisées pour les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité

Le Comité des normes LAN/MAN IEEE 802 a élaboré de nombreuses technologies hertziennes qui assurent des communications résilientes en cas de brouillages permettant de gérer les réseaux de distribution d'électricité sans causer de brouillages.

Les caractéristiques types des normes IEEE 802 sont les suivantes:

- Par exemple, il est établi depuis de nombreuses années que les technologies IEEE 802.11 (WiFi™) et IEEE 802.15.1 (Bluetooth™) peuvent coexister tout en fonctionnant dans la même bande.
- Même si des milliers de dispositifs de réseaux intelligents seront déployés, les exigences en matière de débits de données qui leur seront associées seront peut-être faibles et, selon toute vraisemblance, ces dispositifs n'émettront pas tous en même temps. Par conséquent, ils peuvent partager efficacement les mêmes fréquences.
- Des régulateurs, comme la Federal Communications Commission et l'Ofcom au Royaume-Uni, ont proposé d'appliquer des limites d'émission strictes dans différentes bandes à respecter obligatoirement pour pouvoir utiliser ces bandes.
- Les nouvelles technologies cognitives de partage des fréquences mises au point dans le cadre du Comité des normes IEEE 802 (par exemple la norme IEEE 802.22-2011™, également appelée Wi-FAR™) peuvent utiliser efficacement le spectre sans pour autant nuire aux autres utilisateurs primaires fonctionnant dans ces bandes ou dans les bandes adjacentes.
- Les fonctionnalités intégrées dans les appareils fondés sur les normes IEEE 802, comme la détection du spectre, les étiquettes relatives au spectre, la gestion d'ensembles de canaux et la coexistence, permettront de faire en sorte que les brouillages que ces appareils se causent mutuellement ou causent à d'autres appareils soient réduits au minimum.

Les technologies cellulaires mises au point par le 3GPP utilisent des bandes soumises à obligation de licence et, par conséquent, produisent des brouillages maîtrisés. En outre, des techniques évoluées de gestion des brouillages pour de multiples dispositifs sont en place, par exemple la suppression évoluée des brouillages.

Ces solutions 3GPP, qui proposent des technologies pour réseaux de télécommunication cellulaires, comme l'accès radioélectrique, le réseau de transport central et les fonctionnalités de service (et traitent également des codecs, de la sécurité ou de la qualité de service), contiennent des spécifications système complètes. Ces spécifications définissent en outre des points de raccordement pour assurer un accès non radioélectrique au réseau central ainsi que l'interfonctionnement avec les réseaux Wi-Fi.

Les principaux objectifs de toutes ces normes publiées par le 3GPP sont les suivants:

- Rendre le système compatible avec les versions antérieures et ultérieures dans toute la mesure possible, afin de veiller à ce que l'exploitation de l'équipement utilisateur ne soit jamais interrompue.
- Mener des études approfondies sur la coexistence et élaborer des spécifications afin de garantir l'utilisation en partage des bandes de fréquences par les systèmes employant différentes technologies d'accès 3GPP, avec des incidences minimales sur la qualité de fonctionnement.
- Respecter les exigences réglementaires mondiales en matière d'émission.
- Fournir et tenir à jour des technologies d'accès prenant en charge une large gamme de débits et de capacités de données.

En outre, les technologies 3GPP peuvent utiliser des techniques de diversité, par exemple les sauts de fréquences, pour renforcer la protection contre les brouillages et réduire les brouillages causés à d'autres systèmes fonctionnant dans la même bande. Ces technologies utilisent également des techniques de planification et de coordination pour les brouillages, comme la planification des fréquences à l'échelle d'un système et la coordination intercellulaire relative aux brouillages, pour garantir l'utilisation efficace du spectre. Des techniques évoluées de suppression des brouillages sont par ailleurs utilisées au niveau des récepteurs, afin de renforcer la protection contre les brouillages.

Le 3GPP2 a élaboré de nombreuses technologies hertziennes qui assurent des communications résilientes en cas de brouillages permettant la gestion des réseaux de distribution d'électricité sans causer de brouillages. Les normes de la famille cdma2000 multiporteuses 3GPP2 sont les suivantes:

- cdma2000 1x;
- cdma2000 à haut débit de données en paquets (HRDP/EV-DO);
- cdma2000 à haut débit de données en paquets étendue (xHRPD).

Les normes de la famille cdma2000 multiporteuses 3GPP2 sont reconnues par l'UIT comme des technologies IMT telles qu'elles sont décrites dans la Recommandation UIT-R M.1457. Leurs fonctionnalités types sont les suivantes:

- Technologies éprouvées avec commande d'accès sophistiquée permettant de prendre en charge un grand nombre d'utilisateurs en mode accès aléatoire comme en mode trafic avec des brouillages minimes.
- Technologie déjà déployée partout dans le monde pour fournir la connectivité dans une zone géographique étendue.
- Chaque station de base est conçue pour avoir une grande zone de couverture.
- Ensemble complet de spécifications comprenant des spécifications se rapportant aux réseaux, à la sécurité, aux tests et à la qualité de fonctionnement.

9 Incidences sur la disponibilité du spectre du déploiement à grande échelle des réseaux filaires et hertziens utilisés pour les systèmes de gestion du réseau de distribution d'électricité

Les technologies hertziennes cellulaires 3GPP et les normes de la famille IEEE 802 ont notamment pour objectif que la disponibilité du spectre ne soit pas affectée par les brouillages associés au déploiement à grande échelle de ces technologies et dispositifs.

Cet aspect est essentiel pour les raisons suivantes:

- Des millions de dispositifs hertziens pour réseaux intelligents sont actuellement en place dans différents pays et dans différentes régions (par exemple en Europe, en Australie et en Amérique du Nord) et fonctionnent dans des bandes utilisées en partage. Ces dispositifs sont de plus en plus nombreux et leur nombre devrait continuer d'augmenter dans ces régions car ils sont performants et efficaces.
- Les appareils mobiles hertziens grand public sont très utilisés partout dans le monde. Chaque appareil peut transférer des gigabits de données chaque mois. En revanche, les dispositifs hertziens pour réseaux intelligents transfèrent des volumes de données beaucoup moins importants. Les bandes soumises à obligation de licence, qui sont gérées par les exploitants hertziens, peuvent facilement permettre de prendre en charge le trafic supplémentaire.
- Grâce aux textes réglementaires existants élaborés par des régulateurs comme la Federal Communications Commission et l'Ofcom, des millions de dispositifs hertziens pour réseaux intelligents fonctionnent sans se nuire mutuellement.
- Les normes hertziennes IEEE 802 font appel à différentes technologies, par exemple les sauts de fréquences, le routage maillé, la fragmentation, le codage et le haut débit en salves, qui permettent de disposer de réseaux hertziens fiables pour les réseaux de distribution intelligents, qui sont en outre résilients en cas d'interruption des liaisons et de coupure d'électricité.
- Les technologies hertziennes cellulaires 3GPP ont recours à différentes techniques comme la modulation et le codage de haut niveau, l'attribution des blocs de ressources, la suppression et l'atténuation des brouillages et la technique MIMO, pour utiliser efficacement le spectre attribué. En outre, le fonctionnement en mode coordonné multipoints assure une robustesse accrue.
- Les nouvelles technologies cognitives de partage des fréquences mises au point dans le cadre du Comité des normes IEEE 802 peuvent utiliser efficacement le spectre sans pour autant nuire aux autres utilisateurs primaires fonctionnant dans ces bandes ou dans les bandes adjacentes.
- Les fonctionnalités intégrées dans les appareils fondés sur les normes IEEE 802, comme la détection du spectre, les étiquettes relatives au spectre, la gestion d'ensembles de canaux et la coexistence, permettront de faire en sorte que les brouillages que ces appareils se causent mutuellement ou causent à d'autres appareils soient réduits au minimum.
- Les technologies hertziennes cellulaires 3GPP évoluent en permanence et de nouvelles fonctionnalités présentant un intérêt pour les réseaux intelligents figureront dans la version 13 de la norme 3GPP.
- Les liaisons Ethernet filaires n'utilisent pas les fréquences et sont généralement conformes aux codes locaux et nationaux applicables à la limitation des brouillages électromagnétiques dans le cas de systèmes n'émettant pas. A ce titre, il ne devrait pas y avoir d'autres considérations liées aux brouillages en ce qui concerne les radiocommunications associées au recours à l'Ethernet dans la mise en oeuvre des technologies et des dispositifs hertziens et filaires utilisés pour appuyer les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité.

L'un des objectifs des normes de la série 3GPP est que la disponibilité du spectre ne soit pas affectée par les brouillages associés au déploiement à grande échelle de ces technologies et dispositifs compte tenu des éléments suivants:

- déploiement à grande échelle partout dans le monde de systèmes assurant l'itinérance mondiale de millions d'équipements d'utilisateur:
- couverture fiable du réseau cellulaire presque partout dans le monde.

10 Conclusion

Les réseaux de communications bidirectionnelles à haute capacité utilisant des technologies hertziennes, les courants porteurs en ligne ou d'autres technologies de télécommunication qui associent des capteurs et des compteurs intelligents peuvent permettre de transformer les réseaux de distribution de services collectifs existants en réseaux intelligents.

Grâce au comptage intelligent et aux communications via les réseaux de distribution intelligents, les consommateurs pourront en principe surveiller et modifier à leur avantage leur mode de consommation. Les entreprises de services collectifs pourront en outre mettre en place des mesures de tarification en temps réel, dans le cadre desquelles les prix pourront être ajustés constamment pour tenir compte de la demande totale et de l'intégrité des réseaux de distribution. Il sera par ailleurs possible, en principe, de réguler la demande due à certains types d'appareils électroménagers et équipements industriels très utilisés.

L'objectif général est qu'il soit possible de surveiller et de contrôler les réseaux intelligents interactifs afin de renforcer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité des réseaux de distribution d'électricité, de gaz et d'eau, tout en garantissant aux consommateurs une fourniture ininterrompue.

Annexe 1

Exemple de normes existantes concernant les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité

A1.1 Normes IEEE

Le Comité IEEE 802 a élaboré différentes normes hertziennes pour les applications du premier kilomètre pour les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité. On trouvera dans les tableaux ci-après un récapitulatif des caractéristiques techniques et opérationnelles des normes hertziennes IEEE 802 pertinentes.

NOTE – Voir le Tableau 2 de la Recommandation UIT-R M.1450 pour les paramètres techniques associés à la normes IEEE Std 802.11.

TABLEAU A1.1

Fonctionnalités techniques et opérationnelles des normes IEEE 802.11

Fonction	802.11	802.11ah ²²		802.11n	802.11ac
		Modèle 1 ²³	Modèle 2 ²⁴		
Bandes de fréquences prises en charges (avec ou sans licence)	2,4 GHz	900 MHz	900 MHz	2,4 GHz	5 GHz
Portée opérationnelle nominale	1,5 km	2 km	2 km	0,25 km	0,14 km
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Nomade et mobile	Nomade	Nomade	Nomade et mobile	Nomade et mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	2 Mb/s	156 Mb/s	1,3 Mb/s	600 Mb/s	6 934 Mb/s
Méthode duplex (DRT, DRT, etc.)	DRT				
Largueur de bande RF nominale	20 MHz	1, 2, 4, 8, 16 MHz	2 MHz	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz
Techniques de diversité	Spatiale et temporelle				
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Non	Oui	Non	Oui	Oui
Orientation/conformation du faisceau	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Retransmission	Demande automatique de répétition (ARQ)				
Correction d'erreur directe	Oui	Convolutionnelle et LDPC	Convolutionnelle et LDPC	Oui	Oui
Gestion des brouillages	LBT («écouter avant de parler»)	LBT («écouter avant de parler») et sélection des canaux	LBT («écouter avant de parler») et sélection des canaux	LBT («écouter avant de parler»)	LBT («écouter avant de parler»)
Gestion de la puissance	Oui				
Topologie de connexion	Point à point, à bonds multiples, en étoile				
Méthodes d'accès au support	CSMA/CA				
Méthodes d'accès multiple	CSMA	CSMA/AMRT	CSMA/AMRT	CSMA	CSMA
Découverte et méthode d'association	Balayage passif et actif				

²² IEEE P802.11ah est un projet qui a été mené à bien, mais pour lequel les résultats du processus d'approbation n'étaient pas encore connus au moment où le présent Rapport a été rédigé.

²³ Le modèle 1 comprend une description des normes de cette famille et un modèle pour l'intérieur.

²⁴ Le modèle 2 comprend un modèle d'exploitation particulier et un modèle pour l'extérieur.

TABLEAU A1.1 (*fin*)**Fonctionnalités techniques et opérationnelles des normes IEEE 802.11**

Fonction	802.11	802.11ah ²⁵		802.11n	802.11ac
		Modèle 1 ²⁶	Modèle 2 ²⁷		
Méthodes de qualité de service	Priorité de file d'attente, étiquetage des données de transfert et priorité de trafic				
Détection de l'emplacement	Oui				
Télémétrie	Oui				
Chiffrement	AES-128, AES-256				
Authentification/protection contre les réexecutions	Oui				
Echange de clés	Oui				
Détection des noeuds malveillants	Oui				
Identification unique de l'équipement	Identifiant unique à 48 bits				

TABLEAU A1.2

Fonctionnalités techniques et opérationnelles des normes IEEE 802.15.4

Fonction	Valeur
Bandes de fréquences prises en charges (MHz)	Sans licence: 169, 450-510, 779-787, 863-870, 902-928, 950-958, 2 400-2 483,5 Avec licence: 220, 400-1 000, 1 427
Portée opérationnelle nominale	OFDM – 2 km MR-FSK – 5 km DSSS – 0,1 km
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Nomade et mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	OFDM – 860 kb/s MR-FSK – 400 kb/s DSSS – 250 kb/s
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRT
Largueur de bande RF nominale	OFDM – de 200 kHz à 1,2 MHz MR-FSK – de 12 kHz à 400 kHz DSSS – 5 MHz
Techniques de diversité	Spatiale et temporelle

²⁵ IEEE P802.11ah est un projet qui a été mené à bien, mais pour lequel les résultats du processus d'approbation n'étaient pas encore connus au moment où le présent Rapport a été rédigé.

²⁶ Le modèle 1 comprend une description des normes de cette famille et un modèle pour l'intérieur.

²⁷ Le modèle 2 comprend un modèle d'exploitation particulier et un modèle pour l'extérieur.

TABLEAU A1.2 (*fin*)

Fonction	Valeur
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Non
Orientation/conformation du faisceau	Non
Retransmission	ARQ
Correction d'erreur directe	Convolutionnelle
Gestion des brouillages	LBT («écouter avant de parler»), sélection des canaux, étalement de spectre par saut de fréquence, agilité en fréquence
Gestion de la puissance	Oui
Topologie de connexion	Point à point, à bonds multiples, en étoile
Méthodes d'accès au support	CSMA/CA
Méthodes d'accès multiple	CSMA/TDMA/FDMA (dans les systèmes avec sauts)
Découverte et méthode d'association	Balayage actif et passif
Méthodes de qualité de service	Étiquetage des données de transfert et priorité de trafic
Détection de l'emplacement	Oui
Téléométrie	Oui
Chiffrement	AES-128
Authentification/protection contre les réexecutions	Oui
Echange de clés	Oui
Détection des noeuds malveillants	Oui
Identification unique de l'équipement	Identifiant unique à 64 bits

TABLEAU A1.3

Caractéristiques de la norme IEEE 802.16

Fonction	Valeur
Bandes de fréquences prises en charges (avec ou sans licence)	Bandes de fréquences avec licence entre 200 MHz et 6 GHz
Portée opérationnelle nominale	Optimisée pour une portée allant jusqu'à 5 km dans un environnement point à multipoint type, fonctionnelle jusqu'à 100 km
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Nomade et mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	802.16-2012: 34,6 sens amont/60 sens aval Mbit/s avec 1 antenne de station de base d'émission (10 MHz BW). 69.2 sens amont/120 sens aval Mbit/s avec 2 antennes de station de base d'émission (10 MHz BW) 802.16.1-2012: 66,7 sens amont/120 sens aval Mbit/s avec 2 antennes de station de base d'émission (10 MHz BW), 137 sens amont/240 sens aval Mbit/s avec 4 antennes de station de base d'émission (10 MHz BW)

TABLEAU A1.3 (*fin*)

Fonction	Valeur
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRT et DRT définies, DRT le plus souvent utilisée, DRT adaptative pour le trafic asymétrique
Largueur de bande RF nominale	Ajustable: de 1,25 MHz à 10 MHz
Techniques de diversité	Spatiale et temporelle
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Oui
Orientation/conformation du faisceau	Oui
Retransmission	Oui (ARQ et ARQ hybride (HARQ))
Correction d'erreur directe	Oui (codage convolutionnel)
Gestion des brouillages	Oui (réutilisation partielle des fréquences)
Gestion de la puissance	Oui
Topologie de connexion	Point à multipoint, point à point, retransmission à bonds multiples
Méthodes d'accès au support	La contention coordonnée suivie d'une qualité de service orientée connexion est prise en charge grâce à l'utilisation de 5 disciplines de service.
Méthodes d'accès multiple	OFDMA
Découverte et méthode d'association	Découverte autonome, association par CID/SFID
Méthodes de qualité de service	Différentiation de la qualité de service (5 classes prises en charge) et prise en charge de la qualité de service orientée connexion
Détection de l'emplacement	Oui
Téléométrie	Facultative
Chiffrement	AES128 – CCM et CTR
Authentification/protection contre les ré exécutions	Oui
Echange de clés	PKMv2 (Section 7.2.2)
Détection des noeuds malveillants	Oui, calcul de la clé par code d'authentification de message basé sur un chiffrement (CMAC)/code d'authentification de message haché (HMAC) pour protéger l'intégrité des messages de commande. En outre, valeur ICV des clés pour protéger l'intégrité des unités MPDU.
Identification unique de l'équipement	Adresse MAC, certificats X.509, carte SIM facultative

TABLEAU A1.4

Fonctionnalités techniques et opérationnelles de la norme IEEE 802.20, mode 625k-MC

Fonction	Valeur
Bandes de fréquences prises en charges (avec ou sans licence)	Bandes avec licence au-dessous de 3,5 GHz
Portée opérationnelle nominale	12,7 km (max)

TABLEAU A1.4 (*fin*)

Fonction	Valeur
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	Débit maximal de données d'utilisateur de 1 493 Mbit/s dans le sens aval et de 571 kbit/s dans le sens amont dans une largeur de bande de porteuse de 625 kHz.
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRT
Largueur de bande RF nominale	2,5 MHz (prend en charge 4 porteuses espacées de 625 kHz), 5 MHz (prend en charge 8 porteuses espacées de 625 kHz)
Modulation/rendement de codage – sens amont et sens aval	Modulation et codage adaptatifs, BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-PSK, 16QAM, 24QAM, 32QAM et 64QAM
Techniques de diversité	Diversité spatiale
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Oui
Orientation/conformation du faisceau	Sélectivité spatiale du canal et traitement adaptatif du réseau d'antennes.
Retransmission	ARQ rapide
Correction d'erreur directe	Codage par bloc et codage convolutionnel/décodage Viterbi
Gestion des brouillages	Traitement adaptatif des signaux d'antenne
Gestion de la puissance	Mécanisme de commande adaptative de puissance (boucle ouverte et boucle fermée). La commande de puissance permettra d'augmenter la capacité du réseau et de réduire la consommation d'électricité dans les sens amont et aval.
Topologie de connexion	Point à multipoint
Méthodes d'accès au support	Accès aléatoire TDMA-TDD
Méthodes d'accès multiple	FDMA-TDMA-SDMA
Découverte et méthode d'association	Par authentification mutuelle station de base – terminal utilisateur
Méthodes de qualité de service	Le mode 625k-MC définit trois classes de qualité de service qui mettent en oeuvre le model DiffServ de l'IETF: les comportements par saut de réexpédition accélérée (EF), de réexpédition assurée (AF) et de meilleur effort fondés sur les points de code DiffServ.
Détection de l'emplacement	Oui
Téléométrie	Oui
Chiffrement	Chiffrement de flux RC4 et AES
Authentification/protection contre les réexécutions	Authentification de la station de base et authentification du terminal utilisateur fondées sur l'utilisation de certificats numériques signés conformément à la norme ISO/CEI 9796 à l'aide de l'algorithme Rivest, Shamir et Adleman (RSA).
Echange de clés	Cryptographie à courbe elliptique (en utilisant les courbes K-163 et K-233 de la norme FIPS-186-2)
Détection des noeuds malveillants	Protégée contre les noeuds malveillants
Identification unique de l'équipement	Oui

TABLEAU A1.5

Fonctionnalités techniques et opérationnelles de la norme IEEE 802.22

Fonction	Valeur
Bandes de fréquences prises en charges (avec ou sans licence)	54-862 MHz
Portée opérationnelle nominale	Optimisée pour une portée allant jusqu'à 30 km dans un environnement point à multipoint type, fonctionnelle jusqu'à 100 km
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Nomade et mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	22-29 Mb/s, supérieur à 40 Mb/s avec technique MIMO
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRT
Largueur de bande RF nominale	6, 7 ou 8 MHz
Techniques de diversité	Spatiale, temporelle, codes par bloc, multiplexage spatial
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Oui
Orientation/conformation du faisceau	Oui
Retransmission	ARQ, HARQ
Correction d'erreur directe	Convolutionnelle, Turbo et LDPC
Gestion des brouillages	Oui
Gestion de la puissance	Oui, différents états de faible puissance
Topologie de connexion	Point à multipoint
Méthodes d'accès au support	TDMA/TDD OFDMA, MAC fondé sur la réservation
Méthodes d'accès multiple	OFDMA
Découverte et méthode d'association	Oui, via ID MAC, CID et SFID de l'équipement
Méthodes de qualité de service	Différentiation de la qualité de service (5 classes prises en charge) et prise en charge de la qualité de service orientée connexion
Détection de l'emplacement	Géolocalisation
Téléométrie	Oui
Chiffrement	AES128 – CCM, ECC et TLS
Authentification/protection contre les ré exécutions	AES128 – CCM, ECC, EAP et TLS, protection contre les réexécution par chiffrement, authentification et étiquetage des paquets.
Echange de clés	Oui, PKMv2
Détection des noeuds malveillants	Oui
Identification unique de l'équipement	Identifiant unique de l'équipement à 48 bits, certificat X.509

A1.2 Normes UIT-T

Les Recommandations UIT-T de la série G.990x (UIT-T G.9901, UIT-T G.9902, UIT-T G.9903, UIT-T G.9904) relatives aux courants porteurs en ligne à bande étroite ont été élaborées pour prendre en charge la connectivité et les communications pour réseaux intelligents. On trouvera dans les tableaux ci-après un récapitulatif des fonctionnalités techniques et opérationnelles des deux technologies de courants porteurs en ligne à bande étroite ayant fait leurs preuves, qui ont été définies à l'UIT-T.

TABLEAU A1.6

Fonctionnalités techniques et opérationnelles des Recommandations UIT-T G9903 et UIT-T G.9904

Fonction	Valeur UIT-T G.9903	Valeur UIT-T G.9904
Bandes de fréquences prises en charge	35-488 kHz	42-89 kHz
Débit maximal	42 kbit/s	128 kbit/s
Méthodes d'accès multiple	OFDM	OFDM
Correction d'erreur directe	Reed Solomon, convolutionnelle, embrouilleur, entrelaceur, code de répétition	Convolutionnelle, embrouilleur, entrelaceur
Topologie de réseau	Maillé	Arborescence
Retransmission	ARQ	ARQ
Méthodes d'accès au support	CSMA et priorité	CSMA et sans concurrence ou priorité
Découverte et méthode d'association	6LoWPAN et fondée sur EAP-PSK	Procédures spécifiques d'enregistrement sur le réseau
Méthodes de qualité de service	Différentiation de la qualité de service avec 2 priorités	Différentiation de la qualité de service avec 4 priorités
Chiffrement	AES128 – CCM	AES128 – GCM
Authentification/protection contre les réexécution	Mécanismes d'authentification et anti-réexécution	Mécanismes d'authentification et anti-réexécution
Echange de clés	Oui	Oui
Identification unique de l'équipement	Identifiant d'équipement unique à 64 bits	Identifiant d'équipement unique à 64 bits

A1.3 Normes 3GPP

Le 3GPP a élaboré différentes normes hertziennes pour les applications du premier kilomètre pour les systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité. On trouvera dans les tableaux ci-après un récapitulatif des caractéristiques techniques et opérationnelles des normes hertziennes pertinentes du 3GPP.

TABLEAU A1.7

Fonctionnalités techniques et opérationnelles des technologies 3GPP

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Capacité d'établir de manière fiable une liaison satisfaisante avec le dispositif	% du temps	Dépend du déploiement (type > 99%)	Dépend du déploiement (type > 99%)	Dépend du déploiement (type > 99%)	Dépend du déploiement (type > 99%)
Capacité de maintenir une connexion satisfaisante	Taux d'échec pour 1 000 sessions	Dépend du déploiement (type < 1%)	Dépend du déploiement (type < 1%)	Dépend du déploiement (type < 1%)	Dépend du déploiement (type < 1%)
Voix		Oui	Oui	Oui	Oui
Données	Débit maximal de données d'utilisateur par utilisateur en Mbits/s	Avec 8 intervalles: 0,1856 Mbit/s (Service général de radiocommunication en mode paquet (GPRS) sens amont/sens aval) 0,5568 Mbit/s (GPRS évolué (EGPRS) sens amont/sens aval) 0,928 Mbit/s (EGPRS2-A sens aval) 0,7424 Mbit/s (EGPRS2-A sens amont) Version 7: Double porteuse dans le sens aval, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Version 12: Multiporteuses dans le sens aval, 2x – 16x (EGPRS, EGPRS2-A)	2,048 Mbit/s	346 Mbit/s sens aval; 34 Mbit/s sens amont pour la version 12	~4 Gbit/s sens aval; ~1,5 Gbit/s sens amont pour la version 12

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Vidéo	Résolution maximale en pixels à x images/s	Oui	Oui	Oui	Oui
Zone géographique de couverture	km ²	Rayon de 35 km avec une avance de synchronisation normale; rayon de 120 km avec une avance de synchronisation rallongée	Rayon de 120 km pour les cellules à portée étendue	Rayon de 120 km pour les cellules à portée étendue	Rayon de 100 km
Bilan de liaison	dB	146,36/133,39 dB (Veh A50) (EGPRS) Avec diversité de réception à la station BTS: 144 dB pour GPRS/EGPRS /EGPRS2-A	Jusqu'à 147 dB	Jusqu'à 147 dB (extension de couverture supplémentaire prévue pour la version 13)	Jusqu'à 143 dB dans le sens aval; jusqu'à 133 dB dans le sens amont (extension de couverture supplémentaire prévue pour la version 13)
Vitesse maximale de mouvement relatif	km/s	350 km/h	350 km/h	350 km/h	350 km/h
Doppler maximum	Hz	1 000 avec égaliseur de poursuite de canaux	648	648	648
Débit de données maximal dans le sens amont en liaison hertzienne	Mbit/s	0,271 Mbit/s (GPRS) 0,8125 Mbit/s (EGPRS) 1,0833 Mbit/s (EGPRS2-A)	1,024 Mbit/s	34 Mbit/s pour la version 12	~1,5 Gbit/s pour la version 12

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Débit de données maximal dans le sens aval en liaison hertzienne	Mbit/s	0,271 Mbit/s (GPRS) 0,8125 Mbit/s (EGPRS) 1,3542 Mbit/s (EGPRS2-A) Version 7: Double porteuse dans le sens aval, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Version 12: Multiporteuses dans le sens aval, 2x – 16x (EGPRS, EGPRS2-A)	2,048 Mbit/s	346 Mbit/s pour la version 12	~4 Gbit/s pour la version 12
Débit de données utile maximal dans le sens amont	Mbit/s	Avec 8 intervalles: 0,1856 Mbit/s (GPRS) 0,5568 Mbit/s (EGPRS) 0,7424 Mbit/s (EGPRS2-A)	0,960 Mbit/s	~29 Mbit/s (~15% temps système par rapport à PHY)	~1,275 Gbit/s (~15% temps système par rapport à PHY)
Débit de données utile maximal dans le sens aval	Mbit/s	Avec 8 intervalles: 0,1856 Mbit/s (GPRS) 0,5568 Mbit/s (EGPRS) 0,928 Mbit/s (EGPRS2-A) Version 7: Double porteuse dans le sens aval, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Version 12: Multiporteuses dans le sens aval, 2x – 16x (EGPRS, EGPRS2-A)	1,920 Mbit/s	~294 Mbit/s (~15% temps système par rapport à PHY)	~3,4 Gbit/s (~15% temps système par rapport à PHY)

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Normes pour les radiocommunications publiques fonctionnant dans les bandes sans obligation de licence	GHz L/UL	Peut être mise en oeuvre mais pas spécifiée actuellement	Peut être mise en oeuvre	Peut être mise en oeuvre	Peut être mise en oeuvre (Accès avec licence-facilité aux bandes sans obligation de licence prévues pour la version 13)
Normes pour les radiocommunications publiques fonctionnant dans les bandes avec obligation de licence	GHz L/UL	Bandes multiples conformément à 3GPP 45.005	Bandes multiples conformément à 3GPP 25.101	Bandes multiples conformément à 3GPP 25.101	Bandes multiples conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Normes pour les radiocommunications privées fonctionnant dans les bandes avec obligation de licence	GHz L/UL	Peut être mise en oeuvre mais pas spécifiée actuellement	Peut être mise en oeuvre mais pas spécifiée actuellement	Peut être mise en oeuvre mais pas spécifiée actuellement	Oui, y compris avec fonction «push to talk» (communication vocale instantanée) et technologie directe de dispositif à dispositif.
Méthode duplex	DRT/DRF	DRF	DRF et DRT	DRF et DRT	DRF et DRT, y compris DRF semi-duplex
Largeur de bande de la porteuse	kHz	208 kHz @ 99%	5 MHz pour DRF	5 MHz pour DRF	1,4; 3, 5, 10, 15, 20 MHz Jusqu'à 100 MHz de largeur de bande cumulée avec regroupement de porteuses

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Espacement des canaux	kHz	Espacement de 200 kHz	5 MHz avec DRF	5 MHz avec DRF	Espacement nominal des canaux = $(BWChannel(1) + BWChannel(2))/2$, où $BWChannel(1)$ et $BWChannel(2)$ sont les largeurs de bande de canal des deux porteuses respectives.
Nombre de canaux qui ne se chevauchent pas dans la bande de fonctionnement		Voir 3GPP 45.005	Voir 3GPP 25.101	Voir 3GPP 25.101	Voir 3GPP 36.101 et 36.104
Efficacité spectrale	bits/s/Hz	270,8/200=1,354 (GPRS) 812,5/200 = 4,0625 (EGPRS) 1354,2/200=6,771 (EGPRS2-A)	0,2048 bit/s/Hz sens amont; 0,4096 bit/s/Hz sens aval	2,2 bit/s/Hz sens amont; 5,6 bit/s/Hz sens aval	15 bit/s/Hz sens amont; 40 bit/s/Hz sens aval
Efficacité spectrale moyenne des cellules	bits/s/Hz/cellule	1,1760 Mbit/s/MHz/cellule (Veh A50) (EGPRS)	0,67 sens aval (avec diversité); 0,47 sens amont (Piéton A)	Dépend du scénario de déploiement, exemples de plage: 1,1-1,6 sens aval; 0,7-2,3 sens amont	Dépend du scénario de déploiement, exemples de plage pour la version 8: 1,8-3,2 sens aval; 0,7-1,05 sens amont
Durée de la trame	Ms	120/26 ms	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (1 ms TTI)

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Taille maximale des paquets	Octets	1 560 octets à l'interface RLC	Pas de taille fixe pour DRF (dépend du niveau de modulation et du nombre de codes de découpage des canaux); DRT (3,84 Mbit/s) = 12 750 octets (voir 3GPP 25.321)	42 192 bits par flux dans sens aval; 22 996 bits dans sens amont	8 188 octets pour sens aval/sens amont
Prise en charge de la segmentation	Oui/Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Technique de diversité	Antenne, polarisation, spatiale, temporelle	Oui	Oui	Oui	Oui
Orientation du faisceau	Oui/Non	Non	Non (<i>pour version 5</i>)	Oui	Oui
Retransmission	ARQ/HARQ/-	Oui, par exemple ARQ, HARQ – redondance incrémentale	Oui, par exemple ARQ/HARQ	Oui, par exemple ARQ/HARQ	Oui, par exemple ARQ/HARQ
Technique de correction d'erreur		Codage convolutionnel poinçonné Turbo ajouté à EGPRS2-A conformément à la version 7	Convolutionnel et turbo	Convolutionnel et turbo	Turbo; convolution avec bit d'extrémité sur BCH
Suppression des brouillages		Oui, par exemple suppression des brouillages avec une seule antenne (SAIC) pour sens aval IRC pour sens amont et sens aval	Non (<i>pour version 5</i>)	Oui, pour sens amont et sens aval	Oui

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Fréquence de fonctionnement		Bandes multiples conformément à 3GPP 45.005	Spécifiée dans 3GPP 25.101	Spécifiée dans 3GPP 25.101	Spécifiée dans 3GPP 36.101
Nouvelles tentatives		Configurable	Configurable	Configurable	Configurable
Indicateur d'intensité du signal à la réception (RSSI)		Oui; 64 niveaux entre -110 dBm + échelle et -48 dBm + échelle	Oui; 77 niveaux entre -100 dBm et -25 dBm	Oui; 77 niveaux entre -100 dBm et -25 dBm	LTE indique la puissance du signal de référence reçu (RSRP) pour la cellule LTE voisine et la puissance RSSI (77 niveaux entre -100 dBm et -25 dBm) pour les cellules HSPA et EDGE voisines. Voir 3GPP TS 36.133.
Paquets perdus		Taux d'erreur résiduelle sur les blocs (BLER) = 1% après HARQ	Taux d'erreur résiduelle sur les blocs = 1% après HARQ	Dépend du point de fonctionnement mais, en général, 1% d'erreur résiduelle sur les blocs après HARQ	Dépend du point de fonctionnement mais en général 1% d'erreur résiduelle sur les blocs après HARQ
Mécanismes de réduction de la consommation d'énergie		Oui, par exemple transmission discontinue (DTX), réception discontinue (DRX) et commande de puissance	Oui, par exemple DTX et DRX	Oui, par exemple DTX et DRX	Oui, par exemple DTX et DRX
Prise en charge des états de faible puissance		Oui	Oui	Oui, par exemple cycles DTX/DRX plus longs dans tous les états	Oui

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Point à point		Oui	Oui	Oui	Oui
Point à multipoint		Oui	Oui	Oui	Oui
Radiodiffusion		Oui	Oui	Oui	Oui
Transfert		Oui	Oui	Oui	Oui
Méthode d'accès au support		TDMA à commutation de circuits	CDMA à commutation de circuits	CDMA programmé par paquets	OFDMA programmé par paquets
Découverte		Canal de synchronisation et de diffusion	Canal de synchronisation et de diffusion	Canal de synchronisation et de diffusion	Canal de synchronisation et de diffusion
Association		Flux de blocs temporaires (TBF)	Par différents identifiants RNTI	Par l'identificateur HRNTI et ERNTI attribué aux équipements utilisateurs	Par l'identificateur CRNTI
Priorité du trafic	diffserv, re reserv	Priorités définies par 3GPP	Priorités définies par 3GPP	Priorités définies par 3GPP	Priorités définies par 3GPP
Priorité par file d'attente		Programmeur dans la station de base	Oui, au niveau du programmeur du Noeud B	Oui, au niveau du programmeur du Noeud B	Oui, au niveau du programmeur du Noeud B
Détection de l'emplacement (coordonnées x, y, z)		Méthodes aGPS et UTDOA comme spécifiées par 3GPP	Méthodes aGPS et UTDOA comme spécifiées par 3GPP	Méthodes aGPS et UTDOA comme spécifiées par 3GPP	Méthodes A-GNSS, OTDOA, E-CID, UTDOA comme spécifiées par 3GPP
Télémetrie (indication des distances)					
Chiffrement	Algorithmes pris en charge	A5/3, A5/4, GEA3	KASUMI	KASUMI et SNOW 3G	SNOW 3G/AES
Authentification		Oui	Oui, mutuelle	Oui, mutuelle	Oui, mutuelle
Protection contre les réexecutions		Oui	Oui	Oui	Oui
Echange de clés	Protocoles pris en charge	MILENAGE	MILENAGE	AKA	AKA

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Sources de brouillage		Autres utilisateurs, cellules et réseaux			
Brouillages dans le même canal		Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Brouillages dans le canal adjacent		Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Brouillages dans un autre canal		Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Prévention des collisions		Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Mécanismes de protection		Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérés comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Sensibilité aux autres technologies de radiocommunication brouilleuses		Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Niveau des brouillages causés aux autres technologies de radiocommunication		Géré comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Géré comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Géré comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Géré comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Sensibilité aux émissions radioélectriques des lignes électriques		Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP	Gérée comme indiqué dans spécifications et mises en oeuvre 3GPP
Adresse MAC			Oui	Oui	Oui

TABLEAU A1.7 (suite)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Carte SIM		Oui	Oui	Oui	Oui
Autre identité		IMEI	IMEI	IMEI	IMEI
Détection des activités malveillantes		Oui	Oui	Oui	Oui
Norme de base, organisation de normalisation	Nom de l'organisation de normalisation	ATIS (organisation partenaire du 3GPP)	ATIS (organisation partenaire du 3GPP)	ATIS (organisation partenaire du 3GPP)	ATIS (organisation partenaire du 3GPP)
Organisations d'établissement des profils et d'applications	Nom de l'association/du forum				
Plage de température		Conformément à 3GPP 45.005	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Sources de bruits radioélectriques – autres équipements de radiocommunication		Conformément à 3GPP 45.005 et 45.050	Conformément à 3GPP 25.942	Conformément à 3GPP 25.942	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Sources de bruits radioélectriques – Autres équipements électriques		Conformément à 3GPP 45.005 et 45.050	Conformément à 3GPP 25.943	Conformément à 3GPP 25.943	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Sensibilité du récepteur	dBm	Conformément à 3GPP 45.005 –100 dBm (Veh A120) @ 10% BLER	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Puissance maximale d'émission	dBm	Conformément à 3GPP 45.005	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Paliers de puissance d'émission	dB	Conformément à 3GPP 45.005	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Gain d'antenne	dBi	Conformément à 3GPP 45.005	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104

TABLEAU A1.7 (*fin*)

Caractéristiques de la fonctionnalité	Unité de mesure	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Bruit de fond	dBm	Conformément à 3GPP 45.050	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 25.101 et 25.102	Conformément à 3GPP 36.101 et 36.104
Modulation	GFSK, OFDM, BPSK, GMSK	GMSK, 8-PSK, 16QAM/32QAM ajouté dans EGPRS2-A pour la version 7	BPSK/QPSK	QPSK, 16QAM/64QAM	QPSK, 16QAM/64QAM/256QAM
Correction d'erreur directe		Code convolusionnel poinçonné	Convolusionnel et turbo	Convolusionnel et turbo	Turbo; convolusionnel avec bit d'extrémité sur BCH

Des versions récentes des normes 3GPP contiennent des améliorations pour les communications de type machine (MTC), par exemple:

- Etablissement de l'accès pouvant tolérer des retards dans la version 10 (UMTS, HSPA+, LTE)
- Interdiction d'accès étendue dans la version 11 (GSM/EDGE, UMTS, HSPA+, LTE)
- Mode économie d'énergie pour l'équipement utilisateur dans la version 12 (GSM/EDGE, UMTS, HSPA+, LTE)
- Catégorie d'équipement utilisateur de faible complexité dans la version 12 (LTE)
- Le 3GPP a commencé à travailler sur de nouvelles améliorations pour les communications de type machine dans la version 13, en vue par exemple de rendre les dispositifs moins complexes, d'améliorer la couverture et d'allonger la durée de vie de la batterie.

A1.4 Normes 3GPP2

Le 3GPP2 a élaboré différentes normes hertziennes applicables aux systèmes de gestion des réseaux de distribution d'électricité. On trouvera dans le tableau ci-après un récapitulatif des caractéristiques techniques et opérationnelles des normes hertziennes pertinentes du 3GPP2.

TABLEAU A1.8

**Caractéristiques techniques et opérationnelles prévues dans les normes
de la famille CDMA2000 multiporteuses 3GPP2**

Fonction	Valeur		
	cdma2000 1x	Communications de données par paquets à haut débit cdma2000 (HRPD/EV-DO)	Communications de données par paquets à haut débit étendues (xHRPD)
Bandes de fréquences prises en charges (avec ou sans licence)	Avec licence, multiples bandes possibles (voir 3GPP2 C.S0057-E)	Avec licence, multiples bandes possibles (voir 3GPP2 C.S0057-E)	Avec licence, multiples bandes possibles (voir 3GPP2 C.S0057-E)
Portée opérationnelle nominale	Affaiblissement sur le trajet de 160 dB (Dans le cas des déploiements en zones urbaines, la portée maximale type est de 5,7 km à 2 GHz selon la méthode d'évaluation 3GPP2 C.R.1002-B. Pour les déploiements particuliers, on peut atteindre une portée maximale de 144 km en optimisant la configuration des paramètres.)	Affaiblissement sur le trajet de 160 dB (Dans le cas des déploiements en zones urbaines, la portée maximale type est de 5,7 km à 2 GHz selon la méthode d'évaluation 3GPP2 C.R.1002-B. Pour les déploiements particuliers, on peut atteindre une portée maximale de 144 km en optimisant la configuration des paramètres.)	Amérique du Nord couverte dans le cas d'un déploiement à satellite géostationnaire; 11,4 km en cas de déploiements de Terre; 2 GHz
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Nomade et mobile	Nomade et mobile	Nomade et mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	3,1 Mbit/s (porteuse de 1,23 MHz) dans le sens aval 1,8 Mbit/s (porteuse de 1,23 MHz) dans le sens amont;	4,9 Mbit/s par porteuse de 1,23 MHz, avec jusqu'à 16 porteuses possibles dans le sens aval; 1,84 Mbit/s par porteuse de 1,23 MHz, avec jusqu'à 16 porteuses possibles dans le sens amont.	3,072 Mbit/s par porteuse de 1,23 MHz dans le sens aval; 0,0384 Mbit/s par canal de 12,8 kHz, jusqu'à 96 canaux de 12,8 kHz pris en charge dans 1,23 MHz dans le sens aval.
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRF	DRF	DRF
Largueur de bande RF nominale	1,25 MHz	1,25 à 20 MHz (de 1 à 16 porteuses)	1,25 MHz
Techniques de diversité	Antenne, polarisation, spatiale, temporelle	Antenne, polarisation, spatiale, temporelle	Antenne, polarisation, spatiale, temporelle
Prise en charge de la technique MIMO (oui/non)	Non	Oui	Non

TABLEAU A1.8 (suite)

Fonction	Valeur		
	cdma2000 1x	Communications de données par paquets à haut débit cdma2000 (HRPD/EV-DO)	Communications de données par paquets à haut débit étendues (xHRPD)
Orientation/conformation du faisceau	Oui	Non	Non
Retransmission	HARQ	HARQ	HARQ
Correction d'erreur directe	Convolutionnelle et turbo	Convolutionnelle et turbo	Convolutionnelle et turbo
Gestion des brouillages	Oui, plusieurs techniques, comme suppression des brouillages au niveau du récepteur, commande de puissance, etc.	Oui, plusieurs techniques, comme suppression des brouillages au niveau du récepteur, commande de puissance, etc.	Oui, plusieurs techniques, comme suppression des brouillages au niveau du récepteur, commande de puissance, etc.
Gestion de la puissance	Oui, différents états de faible puissance	Oui, différents états de faible puissance	Oui, différents états de faible puissance
Topologie de connexion	Point à multipoint	Point à multipoint	Point à multipoint
Méthodes d'accès au support	CDMA	CDMA (RL)/TDMA (FL)	FDMA (RL)/TDMA (FL)
Découverte et méthode d'association	Oui, le dispositif mobile recherche en permanence la station de base qui émet le plus fort. Il s'enregistre auprès d'un groupe de stations de base et s'associe à celle qui émet le plus fort lorsqu'il transmet/reçoit des données. Il s'enregistre et éventuellement reçoit un identifiant MAC.	Oui, le dispositif mobile recherche en permanence la station de base qui émet le plus fort. Il s'enregistre auprès d'un groupe de stations de base et s'associe à celle qui émet le plus fort lorsqu'il transmet/reçoit des données. Il s'enregistre et reçoit un identifiant MAC.	Oui, le dispositif mobile recherche en permanence la station de base qui émet le plus fort. Il s'enregistre auprès d'un groupe de stations de base et s'associe à celle qui émet le plus fort lorsqu'il transmet/reçoit des données.
Méthodes de qualité de service	Oui, priorités définies selon 3GPP2	Oui, priorités définies selon 3GPP2	Oui, priorités définies selon 3GPP2
Détection de l'emplacement	Oui, GNSS et AFLT	Oui, GNSS et AFLT	Non
Téléométrie	Oui, fondée sur le temps de propagation aller-retour	Oui, fondée sur le temps de propagation aller-retour	Non spécifiée
Chiffrement	Algorithme de chiffrement de message cellulaire (CMEA); AES	AES	AES

TABLEAU A1.8 (*fin*)

Fonction	Valeur		
	cdma2000 1x	Communications de données par paquets à haut débit cdma2000 (HRPD/EV-DO)	Communications de données par paquets à haut débit étendues (xHRPD)
Authentification/protection contre les réexecutions	Oui; CAVE et AKA	Oui; CHAP et AKA	Oui; CHAP et AKA
Echange de clés	CAVE, SHA-1 et SHA-2 pour AKA	SHA-1, SHA-2 et MILENAGE	SHA-1, SHA-2 et MILENAGE
Détection des noeuds malveillants	Oui, la station de base peut être authentifiée.	Oui, la station de base peut être authentifiée.	Oui, la station de base peut être authentifiée.
Identification unique de l'équipement	Utilisation d'identifiants MEID de 60 bits et carte sim (facultatif)	Utilisation d'identifiants MEID de 60 bits et carte sim (facultatif)	Utilisation d'identifiants MEID de 60 bits et carte sim (facultatif)

Annexe 2

Réseaux intelligents en Amérique du Nord

A2.1 Introduction

Aux Etats-Unis et au Canada, les organismes publics ont reconnu que les fonctionnalités haute capacité en temps réel d'un réseau intelligent permettront aux entreprises de services collectifs et aux utilisateurs finals de bénéficier de tous les avantages économiques et environnementaux qu'offrent les ressources renouvelables, en particulier les ressources renouvelables décentralisées²⁸. De même, ces fonctionnalités devraient permettre de profiter pleinement des avantages que peuvent offrir des

²⁸ Fin 2008, le Conseil des ressources éoliennes de Californie (CARB) a déclaré qu'«un réseau de distribution et une infrastructure de communication intelligents et interactifs permettraient la circulation bidirectionnelle de l'énergie et des données, qui est nécessaire pour déployer à grande échelle des ressources renouvelables décentralisées de production d'énergie, des véhicules hybrides ou électriques et des dispositifs d'utilisateur final efficaces. Les réseaux intelligents peuvent prendre en charge un volume croissant de ressources de production décentralisées, situées à proximité des lieux de consommation, d'où une diminution des pertes dans l'ensemble du système électrique et une réduction des émissions de gaz à effet de serre correspondantes. Grâce à un tel système, la production décentralisée deviendrait courante, ... les véhicules électriques pourraient servir de dispositifs de stockage de l'énergie ... [et] les opérateurs des réseaux de distribution auraient à leur tour une plus grande marge de manœuvre pour faire face aux variations de la production, ce qui peut contribuer à résoudre les problèmes que pose actuellement l'intégration des ressources intermittentes comme l'éolien.» Plan-cadre du Conseil des ressources éoliennes de Californie, Appendice, Vol. I à C-96, 97, CARB (déc. 2008).

grilles tarifaires dynamiques et des applications permettant d'ajuster l'offre en fonction de la demande, qui ont besoin de pouvoir interagir avec plusieurs milliers de dispositifs en temps réel²⁹.

A2.2 Objet du déploiement des réseaux intelligents

Aux Etats-Unis et au Canada, les autorités reconnaissent déjà qu'un réseau de communication pleinement intégré fait partie intégrante d'un réseau intelligent. Par exemple, il a été établi dans le cadre de l'initiative Modern Grid soutenue par le Département de l'énergie américain que *«la mise en oeuvre de communications intégrées est un besoin incontournable [pour un réseau de distribution intelligent], motivé par les autres technologies clés qui en ont besoin et essentiel pour le réseau de distribution d'énergie moderne ...»*³⁰

Il est en outre précisé que *«des technologies de communications bidirectionnelles haut débit et parfaitement intégrées permettront les indispensables échanges d'informations et d'énergie en temps réel»*³¹.

Les autorités de plusieurs Etats³², ainsi que d'autres parties prenantes du secteur, mettent eux aussi en avant des fonctionnalités de communication avancées. Par exemple, en Ontario, le Smart Grid Forum a récemment déclaré que *«les technologies de communication sont au coeur du réseau intelligent. [Ces technologies] font parvenir les données fournies par les compteurs, les capteurs, les régulateurs de tension, les unités mobiles et tout un éventail d'autres dispositifs sur le réseau de distribution, vers*

²⁹ Voir par exemple Enabling Tomorrow's Electricity System – Report of the Ontario Smart Grid Forum, Ontario Smart Grid Forum (février, 2009), selon lequel *«les initiatives en matière de conservation, de production d'énergie renouvelable et de comptage intelligent marquent le début du passage à un nouveau système de fourniture de l'électricité, mais elles ne pourront produire tous leurs effets sans les technologies évoluées grâce auxquelles il est possible de mettre en place le réseau intelligent.»*

³⁰ Voir A System view of the Modern Grid, B1.2 et B1.11, Integrated Communications, élaboré par le National Energy Technology Laboratory pour le Bureau de la fourniture d'électricité et de la fiabilité énergétique du Département de l'énergie américain (février 2007). Ces communications intégrées *«[raccorderont] les composants à une architecture ouverte d'information et de commande en temps réel, ce qui permettra à chaque élément du réseau à la fois de «parler» et «d'écouter».* The Smart Grid: An Introduction, page 29, Département de l'énergie des Etats-Unis (2008).

³¹ *Id.*

³² *«Modernizing the electric grid with additional two-way communications, sensors and control technologies, key components of a smart grid, can lead to substantial benefits for consumers.»* Décision de la PUC de Californie établissant les procédures appliquées par la Commission pour l'examen de projets et des investissements des entreprises de services collectifs à capitaux privés recherchant un financement au titre de la Loi sur la reprise à 3 (10 sept. 2009), disponible à: http://docs.cpuc.ca.gov/word_pdf/FINAL_DECISION/106992.pdf. Voir également, California Energy Commission on the Value of Distribution Automation, California Energy Commission Public Interest Energy Research Final Project Report à 51 (avril 2007), disponible à: <http://www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-100-2007-008/CEC-100-2007-008-CTF.PDF>. *«[Les] communications constituent la base de presque toutes les applications et comprennent les communications bidirectionnelles haut débit dans l'ensemble du système de distribution et à l'intention des différents clients.»*)

les systèmes informatiques et les autres équipements nécessaires pour transformer ces données en renseignements décisionnels»³³.

Annexe 3

Réseaux intelligents en Europe

A3.1 Introduction

L'Europe a beaucoup investi en termes de compétences techniques et de ressources pour comprendre et promouvoir les réseaux intelligents en tant que solution pour surmonter les difficultés qu'elle rencontre en matière de changements climatiques et d'efficacité énergétique, notamment grâce à toutes les initiatives suivantes:

- **Rapport de Fiona Hall, Membre du Parlement européen, «Plan d'action pour l'efficacité énergétique: réaliser le potentiel» (janvier 2008)**³⁴, dans lequel est reconnue l'importance des technologies de l'information et de la communication pour contribuer à générer des gains de productivité supplémentaires, dépassant l'objectif de 20% de l'UE, et selon lequel *«certaines technologies, telles que la technologie des réseaux intelligents... devraient... faire l'objet de recommandations politiques efficaces.»*
- **Position du Parlement européen (arrêtée en première lecture) sur la Directive concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité (juin 2008)**³⁵, selon laquelle des *«formules tarifaires, alliées à l'introduction de compteurs et de réseaux intelligents, promeuvent un comportement favorisant l'efficacité énergétique et des coûts aussi bas que possible pour les clients résidentiels, et en particulier ceux en situation de pauvreté énergétique»*.
- **Plate-forme technologique européenne sur les réseaux de distribution intelligents**³⁶ dont la mission est de «formuler et de promouvoir une vision pour le développement des réseaux d'électricité européens à l'horizon 2020», et qui étudie en particulier comment les TIC évoluées peuvent aider à rendre les réseaux d'électricité souples, accessibles, fiables et économiques conformément à l'évolution des besoins en Europe.

³³ Voir Enabling Tomorrow's Electricity System – Rapport de l'Ontario Smart Grid Forum à 34, Ontario Smart Grid Forum (février 2009). Ce rapport indique en outre que «les systèmes de communication que les entreprises de services collectifs mettent actuellement au point pour les compteurs intelligents ne permettront pas de prendre en charge le développement plein et entier des réseaux intelligents. Les besoins de communication associés à la collecte des données de comptage sont différents de ceux associés au fonctionnement des réseaux. Le fonctionnement des réseaux nécessitera une largeur de bande supplémentaire et un service redondant vu la quantité de données opérationnelles, le débit requis pour les utiliser et leur sensibilité. *Id.* à 35.

³⁴ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A6-2008-0003+0+DOC+PDF+V0//EN&language=EN>.

³⁵ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&language=EN&reference=P6-TA-2008-0294>.

³⁶ <http://www.smartgrids.eu/>.

- **Projet ADDRESS**³⁷ (Réseaux de distribution actifs avec intégration complète de la demande et des ressources d'énergie décentralisées), qui est un projet financé par l'UE visant à fournir un cadre commercial et technique détaillé pour le développement d'une «demande active» dans les réseaux intelligents de demain. Il rassemble 25 partenaires de 11 pays européens représentant la totalité de la chaîne d'approvisionnement en électricité. Les courants porteurs en ligne sont un élément important des projets en cours dans le cadre de l'initiative ADDRESS³⁸.

A3.2 Activités européennes menées dans certains Etats Membres³⁹

A3.2.1 Initiative industrielle européenne sur les réseaux de distribution d'électricité

La Commission européenne a lancé l'initiative industrielle européenne sur les réseaux de distribution d'électricité⁴⁰ dans le cadre du Plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (Plan SET).

Le 22 novembre 2007, la Direction générale de l'énergie et la Direction générale pour la recherche de la Commission européenne ont proposé le Plan SET en vue de rendre plus rapidement disponibles de nouvelles technologies énergétiques et de créer un cadre européen à long terme pour le développement des technologies énergétiques. Le Plan SET permet de combiner la coordination de la Commission européenne, les capacités de recherche des grandes universités et des principaux instituts européens, l'engagement de l'industrie européen et la volonté des Etats Membres. L'un des deux défis que permettra de relever le Plan SET est la mobilisation de ressources supplémentaires pour financer des activités de recherche et les infrastructures connexes, des projets de démonstration à l'échelle industrielle et des projets de première application commerciale. Dans sa communication relative au Plan SET, la Commission a annoncé l'augmentation des budgets du Septième programme-cadre de la Communauté européenne (2007-2013) et du Programme Energie intelligente pour l'Europe.

Le budget annuel moyen consacré à la recherche dans le domaine de l'énergie (CE et Euratom) s'élèvera à 886 millions d'euros, contre 574 millions d'euros pour les programmes précédents⁴¹. Le budget annuel moyen affecté au Programme Energie intelligente pour l'Europe sera multiplié par deux par rapport aux budgets précédents, pour s'élever à 100 millions d'euros.

³⁷ http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=ENERGY_NEWS&ACTION=D&DOC=1&CAT=NEWS&QUERY=011bae3744bf:2435:2d5957f8&RCN=29756.

³⁸ Voir «Iberdrola, EDP Announce Big Smart Grid Expansions at EUTC Event», Smart Grid Today, 9 novembre 2009 («Iberdrola is using PLC to connect its smart meters while EDP is using a mix of PLC and wireless»).

³⁹ Source pour l'ensemble de cette section: European Regulators' Group for Electricity and Gas Position Paper on Smart Grids – Ref: E09-EQS-30-04, Annexe III.
http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_CONSULT/CLOSED_PUBLIC_CONSULTATIONS/ELECTRICITY/Smart_Grids/CD
http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_CONSULT/CLOSED%20PUBLIC%20CONSULTATIONS/ELECTRICITY/Smart%20Grids/CD.

⁴⁰ Références: Commission européenne, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des régions «Plan stratégique pour les technologies énergétiques (Plan SET) – Pour un avenir moins pollué par le carbone», COM(2007) 723 final, 22 novembre 2007, «Energy for The Future of Europe: The Strategic Energy Technology (ST) Plan», MEMO/08/657, 28 octobre 2008.

⁴¹ Commission européenne, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des régions «Plan stratégique pour les technologies énergétiques (Plan SET) – Pour un avenir moins pollué par le carbone», COM(2007) 723 final, 22 novembre 2007.

Afin d'associer l'industrie européenne à ses travaux, la Commission européenne a proposé de lancer, au printemps 2009, six Initiatives industrielles européennes dans les domaines suivants: énergie éolienne; énergie solaire; bioénergies; captage, transport et stockage du dioxyde de carbone; réseaux électriques; et fission nucléaire. Ces initiatives visent à renforcer la recherche et l'innovation dans le secteur de l'énergie, à accélérer le déploiement des technologies et à élaborer des stratégies sortant des sentiers battus. Elles permettent d'associer des ressources adaptées et des acteurs des secteurs industriels, offrant une valeur ajoutée grâce au partage des risques, à des partenariats public-privé et à un financement au niveau européen.

L'initiative industrielle européenne sur les réseaux de distribution d'électricité devrait porter principalement sur l'élaboration du système d'électricité intelligents, comprenant le stockage, et sur la création d'un Centre européen pour mettre en oeuvre un programme de recherche sur le réseau de transmission européen⁴², l'objectif étant à terme de mettre en place un réseau de distribution d'électricité intelligent européen unique, capable de prendre en charge l'intégration massive de sources d'énergie renouvelables et décentralisées⁴³. Comme pour d'autres initiatives industrielles européennes, l'initiative sur les réseaux de distribution d'électricité devra être associée à des objectifs mesurables en termes de réduction des coûts ou d'amélioration de l'efficacité.

A3.2.2 Plate-forme technologique nationale – Réseaux intelligents en Allemagne

L'initiative «E-Energie: Système énergétique fondé sur les TIC de demain»⁴⁴ est une nouvelle priorité en termes d'appui et de financement, qui s'inscrit dans le cadre de la politique technologique du Gouvernement fédéral. Comme pour les expressions «E-Commerce» ou «E-Gouvernement», l'expression «E-Energie» désigne l'interconnexion numérique complète et le contrôle et la surveillance informatiques du système de fourniture d'énergie dans sa totalité.

Il a été décidé que le secteur de l'électricité serait le premier visé par le projet, étant donné que les problèmes à résoudre en termes d'interaction en temps réel et d'intelligence informatique sont particulièrement importants du fait de la possibilité limitée de stocker l'électricité. L'objectif du projet E-Energy est avant tout de mettre en place des projets régionaux servant de modèles afin de montrer comment utiliser au mieux l'immense potentiel d'optimisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour accroître l'efficacité, la sécurité de la fourniture et la compatibilité environnementale (piliers des politiques énergétiques et climatiques) en matière de fourniture d'énergie et comment, par la suite, créer des emplois et développer de nouveaux marchés. Élément particulièrement innovant du projet, des concepts de systèmes TIC favorisant l'intégration, qui optimisent l'efficacité, la sécurité de la fourniture et la compatibilité environnementale de l'ensemble du système de fourniture d'électricité tout au long de la chaîne – de la production et du transport à la distribution et la consommation – sont mis au point et testés en temps réel dans le cadre de ces projets régionaux E-Energy modèles.

Afin d'accélérer la mise au point d'innovations et d'élargir les retombées, le programme E-Energy était concentré sur les trois aspects suivants:

- 1) Création d'un marché E-Energy qui facilite les transactions légales et les accords commerciaux électroniques entre tous les acteurs du marché.
- 2) Interconnexion numérique et informatisation des systèmes et composants techniques, ainsi que des activités de commande des processus et de maintenance fondées sur ces systèmes et

⁴² La proposition de créer un Centre européen pour les réseaux d'électricité a été soumise dans le cadre du projet 6FP RELIANCE, qui rassemblait huit opérateurs européens de systèmes de transmission.

⁴³ Commission européenne, «Energy for The Future of Europe: The Strategic Energy Technology (ST) Plan», MEMO/08/657, 28 octobre 2008.

⁴⁴ <http://www.e-energy.de/en/>.

composants, afin de garantir une grande indépendance de la surveillance, de l'analyse, de la commande et de la régulation du système technique dans son ensemble.

- 3) Création d'un lien électronique entre le marché de l'énergie électronique et l'ensemble du système technique afin d'assurer l'interaction numérique en temps réel des opérations commerciales et technologiques.

Un concours technologique E-Energy a été organisé, dans le cadre duquel six projets pilotes ont été récompensés. Chaque projet portait sur un système complet, couvrant toutes les activités économiques intervenant dans la fourniture d'énergie, à la fois au niveau du marché et au niveau de l'exploitation technique.

En plus des fonds propres des entreprises participantes, ce programme sur quatre ans mobilisera quelque 140 millions d'euros pour le développement de six projets régionaux E-Energy modèles:

- Projet eTelligence pour la région de Cuxhaven
Objet: Intelligence pour la fourniture d'énergie, les marchés et les réseaux de distribution d'électricité
- Projet E-DeMa pour la région de la Ruhr
Objet: Systèmes d'énergie intégrés décentralisés pour créer le marché E-Energy de demain
- Projet MeRegio
Objet: Réduction au minimum des émissions produites dans une région
- Projet pour la ville de Mannheim
Objet: Projet mené dans le cadre du projet pilote pour la région Rhin-Neckar
- Projet RegModHarz
Objet: Modèle de récupération de l'énergie mis en oeuvre à Harz
- Projet Smart Watts pour la région d'Aix-la-Chapelle
Objet: Renforcement de l'efficacité et multiplication des avantages pour les consommateurs grâce à «l'Internet de l'énergie»

En plus des coordonnateurs des projets, d'autres acteurs comme des fabricants d'équipements électriques, des intégrateurs de systèmes, des fournisseurs de services, des instituts de recherche et des universités sont associés au projet.

D'ici à 2012, les projets régionaux modèles sélectionnés devaient développer leurs propositions prometteuses jusqu'au stade de la mise sur le marché et tester les possibilités de commercialisation pour une application au quotidien.

Annexe 4

Réseau intelligent au Brésil

A4.1 Introduction

Le Ministère des mines et de l'énergie a encouragé les études relatives aux technologies qui pourraient être utilisées pour le concept de réseau intelligent. Ces études étaient motivées par la nécessité de réduire les pertes techniques et non techniques et d'accroître l'efficacité du système tout entier pour améliorer la fiabilité, la résilience, la sécurité, etc. Il y a eu, un groupe d'étude bénéficiant de l'appui

du Ministère brésilien a mis en avant plusieurs problèmes liés au système d'électricité actuel et a présenté des technologies et des solutions qui pourraient permettre de réduire les pertes et d'améliorer l'efficacité de ces systèmes. Les études menées tenaient également compte des aspects économiques, en particulier du coût qui pourrait être acceptable pour l'installation de plus de 45 millions de compteurs dans le pays.

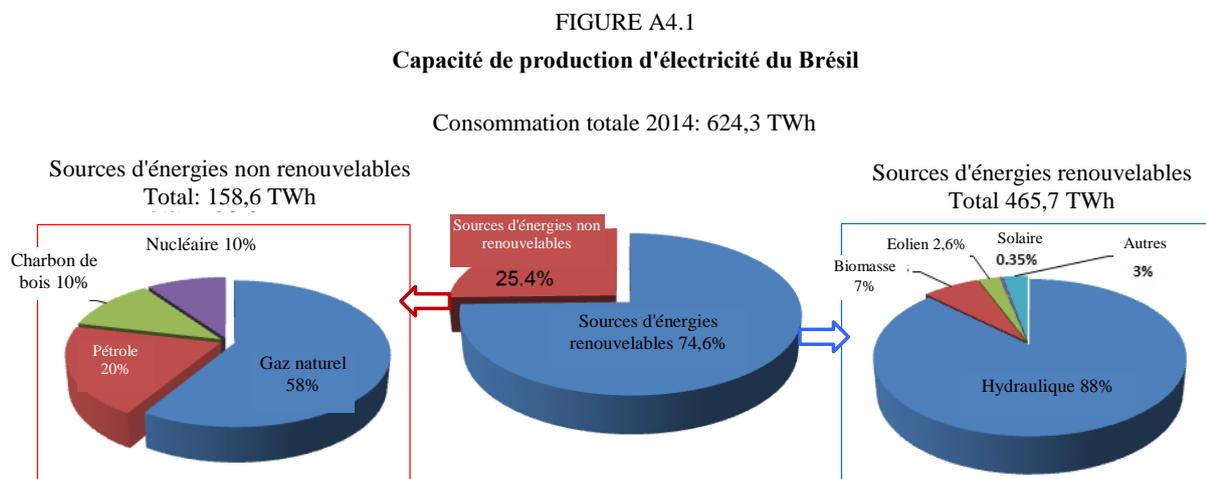
En outre, d'autres études ont été menées par des institutions privées grâce à des financements publics, par exemple celle effectuée par l'ABRADEE et l'APTEL, associations à but non lucratif du secteur de l'électricité.

- APTEL – Association des entreprises privées propriétaires d'infrastructures et de systèmes de télécommunication, créée le 7 avril 1999.
- ABRADEE – Association brésilienne des fournisseurs d'électricité, créée en août 1975.

A4.2 Secteur brésilien de l'électricité

Actuellement, le Brésil a une capacité de production de plus de 142 GW pour plus de 75 millions de clients. Comme le montre la Figure A4.1 [1], la consommation d'énergie au Brésil (2014) s'élève à environ 624,3 TWh.

La part des énergies renouvelables dans la production totale s'élève à 76,4%, tandis que celle des énergies non renouvelables s'élève à 25,4%.



La consommation moyenne au Brésil est de 68 GW, avec des pics à plus de 80 GW. Récemment, le secteur de l'électricité a annoncé qu'il prévoyait une augmentation de la consommation d'environ 44%, ce qui suppose un système électrique efficace sur le plan énergétique.

A titre de première étape pour atteindre cette efficacité, le Ministère estime qu'il faut en priorité réduire les pertes techniques et non techniques dans les systèmes d'électricité. Les pertes techniques s'élèvent à 5% dans le système de transmission et à 7% dans le système de distribution. En outre, les pertes non techniques, par exemple les raccordements non autorisés aux systèmes de distribution, s'élèvent à 7%.

Vu ces chiffres, le Brésil risque de rencontrer d'importantes difficultés pour mettre au point un système d'électricité permettant d'accroître l'efficacité et de réduire les pertes.

A4.3 Groupe d'étude brésilien sur le réseau intelligent

Afin de comprendre le concept de réseau intelligent, le Ministère des mines et de l'énergie a créé en mai 2010 un groupe d'étude composé de membres des secteurs de l'électricité et des

télécommunications. Ce groupe a notamment pour objectif d'évaluer la possibilité d'appliquer ce concept au réseau de distribution d'électricité brésilien afin d'accroître l'efficacité du système.

Mi-mars 2011, un rapport a été présenté au Ministre des mines et de l'énergie concernant les technologies les plus modernes dans ce domaine. Il contenait des renseignements sur les concepts de réseau intelligent, ainsi que des informations techniques sur des questions économiques, de facturation et de télécommunication.

S'agissant des télécommunications, l'étude tenait compte des technologies et des ressources disponibles au Brésil et des types de technologies utilisés dans d'autres pays qui pourraient être appliqués au Brésil. Dans un premier temps, la stratégie adoptée par le Gouvernement brésilien consiste à s'intéresser en particulier au déploiement d'une infrastructure de comptage évolué.

Dans le cadre de cette étude, un groupe technique s'est rendu aux Etats-Unis en octobre 2010, pour recueillir des informations sur les questions liées aux réseaux intelligents. En général, il a été constaté que la quasi-totalité des technologies de télécommunication déployées pour prendre en charge les fonctionnalités de réseaux intelligents pourraient être appliquées dans le cas du Brésil.

En décembre 2011, la Commission d'études ABRADÉE-APTEL a présenté le rapport de son étude à l'agence nationale de régulation, l'ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Cette étude visait à faire une projection du déploiement des fonctionnalités de réseau de distribution intelligent dans l'ensemble du secteur brésilien de l'électricité sur une période de dix ans et à établir des prévisions concernant les investissements et les bénéfices associés à ces projections. Pour ce faire, la commission a utilisé une base de données rassemblant plus de 50 entreprises de services d'électricité associées aux responsables du projet et les projections reposent sur la situation réelle des entreprises brésiliennes.

A4.4 Questions liées aux télécommunications

Il a été constaté que plusieurs types de technologies de télécommunication peuvent être appliqués dans le même but. Par exemple, il est possible d'utiliser les technologies Zig-Bee et Mesh Grid pour relever les compteurs de consommation d'énergie des utilisateurs finals. Pour les liaisons de raccordement, les technologies Wi-Max, GPRS, 3G, 4G, etc., peuvent toutes être utilisées. Chaque solution est choisie en fonction d'aspects techniques comme le spectre disponible, les conditions de propagation, le débit, etc.

Actuellement, on ne connaît pas avec certitude le débit de raccordement nécessaire pour les applications de réseaux intelligents. Il s'agit pourtant d'une information capitale dans le cadre des projets de réseau intelligent pour choisir la solution adaptée et définir les exigences en ce qui concerne les ressources spectrales, comme la largeur de bande, les limites des brouillages préjudiciables causés à d'autres services, les limites de puissance et les aspects liés à la propagation. Jusqu'à présent, aucune étude n'a été consacrée aux exigences pour le système de télécommunication qui pourrait être appliqué pour les réseaux intelligents.

Nous nous intéressons aux techniques de mesure des champs électriques dans le cadre de l'utilisation des courants porteurs en ligne dans la bande d'ondes kilométriques pour les applications de réseaux intelligents. Il y a peu, plusieurs entreprises au Brésil ont indiqué qu'elles souhaitaient faire certifier des équipements CPL utilisant des porteuses aux environs de 80 kHz et une largeur de bande de 20 kHz pour le comptage intelligent. La réglementation prévoit des restrictions des émissions aux environs de cette fréquence et la valeur limite du champ électrique est donnée pour des mesures faites à 300 m de la source.

L'étude réalisée par l'ABRADÉE/APTEL a montré qu'il faut investir environ 19 milliards de reais dans les équipements de télécommunication et 3 milliards de reais dans les équipements de technologies de l'information pour déployer les fonctionnalités de base de réseau de distribution intelligent comme le comptage intelligent, l'automatisation du réseau de distribution, l'auto-rétablissement, les sources décentralisées d'énergie renouvelable et les voitures électriques.

Le modèle de référence de l'architecture de communication utilisée est celui proposé par le projet P2030 de l'IEEE. L'architecture suggérée définit une hiérarchie logique et une interface normalisée d'interconnexions interopérables pouvant être déployées avec plusieurs technologies de réseaux de communication, par exemple celles utilisées dans l'étude: hertziennes (WiFi 802.11, WIMAX 802.16), GPRS, 3G, MPLS, VPN et liaisons à fibre optique ou liaisons radioélectriques pour les réseaux de jonction extérieure (FAN) et les liaisons de raccordement.

Une étude sur les réseaux de télécommunication utilisés actuellement au Brésil par les fournisseurs de services d'électricité a montré que 69% des systèmes de raccordement utilisent la fibre optique, que la technologie GPRS est celle qui est le plus utilisé pour l'accès sur le dernier kilomètre et que les liaisons hyperfréquences (400 MHz et 900 MHz) sont utilisées dans 44% des entreprises, principalement pour raccorder les équipements de données installés sur des poteaux. Quelque 50% des entreprises de services d'électricité utilisent des lignes dédiées fournies par des opérateurs de télécommunication publics.

A4.5 Données techniques

Il est essentiel de présenter des données sur le débit de raccordement, le temps de latence, la résilience, la fiabilité, etc., que l'on jugerait adaptés pour le réseau intelligent pour pouvoir planifier les ressources nécessaires en termes d'infrastructure et de spectre et éviter l'obsolescence et le gaspillage des ressources.

Sur la base du modèle d'informations commun (CIM) adopté par la CEI et défini dans les normes de la CEI de la série 61970, l'étude ABRADÉE/APTEL a mis en lumière la nécessité d'élaborer une stratégie spéciale en matière de cybersécurité des réseaux de distribution intelligents compte tenu des risques potentiels liés aux aspects suivants:

- grande complexité du réseau électrique;
- nouvelles formes de vulnérabilités dans les réseaux interconnectés;
- exploitation du nombre de points d'accès;
- protection de la vie privée des consommateurs.

A4.6 Mesures dans la bande d'ondes kilométriques

En outre, aux fins de l'application de la loi, en vue d'éviter les procédures compliquées de mesure des champs électriques en zones urbaines et compte tenu de la réglementation stricte, il est reconnu que d'autres procédures, comme la mesure de la puissance, seraient moins lourdes que l'utilisation d'analyseurs de spectre raccordés à une antenne en ondes kilométriques.

A4.7 Conclusion

Vu la nature stratégique de la mise en oeuvre des réseaux intelligents dans les pays en développement, nous demandons aux autres administrations de soumettre des contributions sur les données techniques et les mesures en ondes kilométriques comme indiqué ci-dessus.

Compte tenu de la taille et de la complexité du réseau de télécommunication nécessaire pour prendre en charge le déploiement du concept de réseau intelligent à l'échelle du réseau d'électricité au Brésil, l'étude ABRADÉE/APTEL préconise, entre autres choses, une analyse approfondie de l'utilisation du spectre, en vue d'identifier des bandes de fréquences spécifiques dont l'utilisation serait réservée aux applications dans les zones rurales et urbaines.

Référence

- [1] Presentation: Distributed Generation, Rodrigo Campos de Souza – APTEL Seminar of Mini and Micro Power Generation – Rio de Janeiro – RJ – 8 décembre 2015.

Annexe 5

Réseau intelligent en République de Corée

A5.1 Feuille de route sur un réseau intelligent en Corée

Afin de lutter contre les changements climatiques, la Corée a reconnu qu'il est nécessaire de déployer un réseau intelligent qui servira d'infrastructure dans l'optique d'un passage à une industrie verte à faible empreinte carbone et du respect des obligations du pays en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, le Gouvernement coréen met en oeuvre l'initiative sur le réseau de distribution intelligent, qui fait partie des politiques nationales mises en oeuvre pour parvenir à une «croissance verte à faible empreinte carbone».

En 2009, la Commission pour une croissance verte de la Corée a présenté son projet «Construire un pays vert évolué» et a exposé les grandes lignes de la feuille de route pour un réseau intelligent⁴⁵. A partir de novembre 2009, les avis et les observations d'experts du secteur privé, des milieux universitaires et des instituts de recherche ont été recueillis et ont servi à l'élaboration de la version finale de la feuille de route qui a été présentée en janvier 2010. Conformément à cette feuille de route nationale, le projet de réseau intelligent est mis en oeuvre dans les cinq domaines ci-après, l'objectif étant de construire un réseau intelligent couvrant l'ensemble du pays d'ici à 2030:

- 1) Réseau de distribution d'électricité intelligent
- 2) Bâtiments intelligents
- 3) Transports intelligents
- 4) Energies renouvelables intelligentes
- 5) Service d'électricité intelligent.

Le projet de réseau intelligent de la Corée sera mis en oeuvre en trois phases: la première phase consiste à construire et à mettre en service une zone test servant de banc d'essai pour réseaux intelligents afin de tester les technologies pertinentes. La deuxième phase consiste à étendre la zone test aux grandes agglomérations tout en ajoutant des éléments intelligents à l'extrémité consommateur. La dernière phase consiste à achever la mise en place, dans l'ensemble du pays, du réseau intelligent prenant en charge tous les réseaux de communication qui lui sont associés.

FIGURE A5.1

Feuille de route pour un réseau intelligent en Corée

	Première phase (2010-2012)	Deuxième phase (2012-2020)	Troisième phase (2021-2030)
--	----------------------------	----------------------------	-----------------------------

⁴⁵ <http://www.ksmartgrid.org/eng/>.

Phase de mise en oeuvre	«Construction et mise en service de la zone test servant de banc d'essai pour réseaux intelligents» (validation technique)	«Elargissement aux zones urbaines» (consommateurs intelligents)	«Achèvement du réseau national de distribution d'électricité (réseau de distribution d'électricité intelligent)
Réseau de distribution d'électricité intelligent	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance du réseau de distribution d'électricité en temps réel - Transmission d'énergie numérique - Exploitation d'un système de distribution optimal 	<ul style="list-style-type: none"> - Prévoir les pannes possibles des réseaux d'électricité - Raccorder le système d'électricité à celui des autres pays - Raccorder le système de fourniture d'électricité aux moyens de production décentralisés et aux dispositifs de stockage de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Auto-rétablissement des réseaux de distribution d'électricité - Exploitation d'un réseau intelligent intégré pour l'énergie
Consommateur intelligent	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de l'énergie dans les foyers intelligents - Différents choix pour les consommateurs, notamment pour les prix 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments/usines - Encourager les consommateurs à produire de l'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> - Habitations/bâtiments passifs
Transports intelligents	<ul style="list-style-type: none"> - Construction et tests d'installations de recharge de véhicules électriques - Exploitation de véhicules électriques dans le cadre d'un projet pilote 	<ul style="list-style-type: none"> - Extension des installations de recharge de véhicules électriques dans l'ensemble du pays - Maintenance et gestion efficaces des véhicules électriques 	<ul style="list-style-type: none"> - Généraliser la disponibilité d'installations de recharge - Diversifier les méthodes de facturation - Utiliser des dispositifs portables pour le stockage de l'énergie
Energies renouvelables intelligentes	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitation de micro-réseaux de distribution en raccordant des moyens de production décentralisés, des dispositifs de stockage et des véhicules électriques - Elargissement de l'utilisation des dispositifs de stockage d'énergie et des moyens de production décentralisés 	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitation optimale des systèmes d'électricité avec micro-réseaux - Elargissement de l'application des dispositifs de stockage de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre l'énergie renouvelable à la disposition de tous
Service d'électricité intelligent	<ul style="list-style-type: none"> - Les consommateurs choisissent le prix de leur électricité - Les consommateurs revendent l'énergie renouvelable qu'ils produisent 	<ul style="list-style-type: none"> - Promouvoir les transactions concernant les produits dérivés de l'énergie électrique - Mettre en oeuvre, dans l'ensemble du pays, un système de tarification en temps réel - Permettre l'arrivée de participants volontaires sur le marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Encourager différents types de transactions relatives à l'énergie électrique - Promouvoir la convergence pour le marché des secteurs reposant pour l'électricité - Devenir leader sur le marché de l'énergie en Asie du Nord-Est

Une fois la troisième phase menée à bien, les retombées et les avantages associés au réseau intelligent seront notables: grâce à ce réseau, la Corée prévoit de réduire la consommation d'électricité nationale de 6%, tout en facilitant l'utilisation plus large d'énergies nouvelles ou renouvelables, comme les énergies éoliennes et solaires. En outre, la Corée réduira de 230 millions de tonnes ses émissions de gaz à effet de serre et créera 50 000 emplois par an, sur un marché intérieur qui représentera 68 milliards de wons d'ici à 2030. Le savoir-faire accumulé permettra à la Corée de progresser sur le marché international. La croissance verte dans le pays contribuera grandement à la lutte contre le réchauffement de la planète dans l'avenir.

Pour le pays, le projet de réseau intelligent vise à accroître l'efficacité énergétique et à mettre en oeuvre une infrastructure utilisant les énergies vertes en construisant une infrastructure respectueuse de l'environnement qui produit moins d'émissions de dioxyde de carbone. Pour l'industrie, ce projet vise à garantir un nouveau moteur de croissance qui permettra à la Corée d'entrer dans l'ère de la croissance verte. Pour les habitants, l'objectif de ce projet est de mettre en place un mode de vie écologique à faible empreinte carbone, en améliorant la qualité de vie moyennant l'adoption d'habitudes écologiques à faible empreinte carbone.

A5.2 Mise au point des technologies

La zone test du réseau intelligent (10 MW) sera une ville de 3 000 foyers et comprendra au total deux sous-stations avec au moins deux bancs et, pour chaque banc, deux lignes de distribution. C'est dans cette zone que seront menés des programmes de recherche sur «la transmission d'énergie à l'aide des technologies de l'information» et sur les nouvelles ressources d'énergie renouvelable.

Une dizaine de consortiums dans cinq domaines ont participé aux tests des technologies et à l'élaboration de modèles commerciaux, le projet ayant été mis en oeuvre en deux étapes, comme indiqué dans le Tableau A5.1.

TABLEAU A5.1

Plan de mise en oeuvre de la zone test de Jeju par phase

Etape	Période	Principaux domaines	Principaux éléments
Phase de base (construction de l'infrastructure)	2010 ~ 2011	Réseaux de distribution d'électricité intelligents Bâtiments intelligents Transports intelligents	Raccorder les réseaux associés au réseau de distribution et les consommateurs, les réseaux associés au réseau de distribution et les véhicules électriques
Phase de développement (exploitation intégrée)	2012 ~2013	Energies renouvelables intelligentes Service d'électricité intelligent	<ul style="list-style-type: none"> – Fournir de nouveaux services d'électricité – Prendre en charge les sources d'énergie renouvelable dans le réseau de distribution d'électricité

Annexe 6

Réseau intelligent en Indonésie

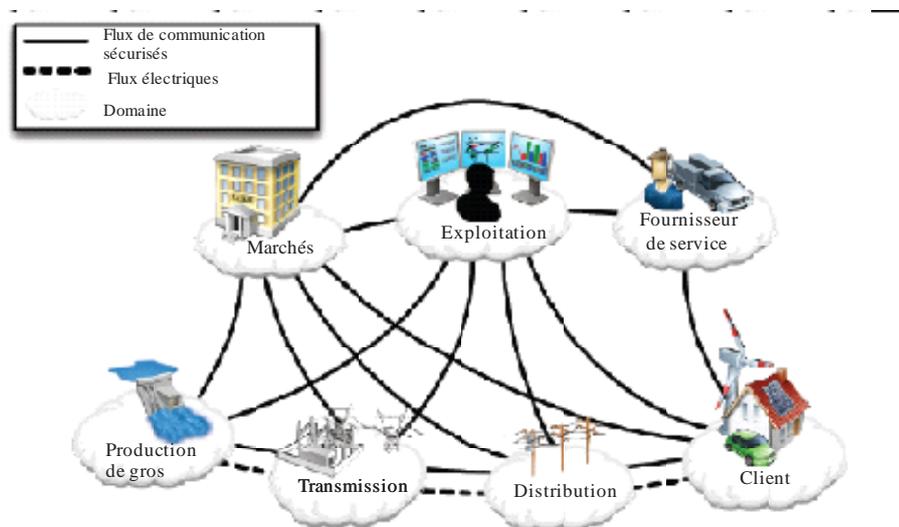
A6.1 Introduction

La mise en oeuvre d'un réseau intelligent a nécessité des équipements technologiques modifiant le flux de service depuis la centrale électrique vers les clients, avec sept grands domaines: production de gros, transmission, distribution, clients, exploitation, marché et fourniture de services. Pour chaque domaine, des éléments de réseaux intelligents sont connectés entre eux grâce à des technologies analogiques ou numériques de communications bidirectionnelles qui permettent de rassembler des informations et servent à faire circuler l'information et l'électricité. La connexion est un élément

essentiel dans le réseau intelligent pour pouvoir accroître l'efficacité, la fiabilité, la sécurité, la rentabilité et la pérennité de la production et de la distribution d'électricité.

FIGURE A6.1

Interaction entre les acteurs du réseau intelligent



Report SM.2351-A6-01

Un réseau intelligent est un réseau de système à système, qui comprend trois couches principales: couche électricité et énergie, couche communication et couche technologies de l'information. Ces couches sont des éléments essentiels pour les flux électriques et les flux de communication.

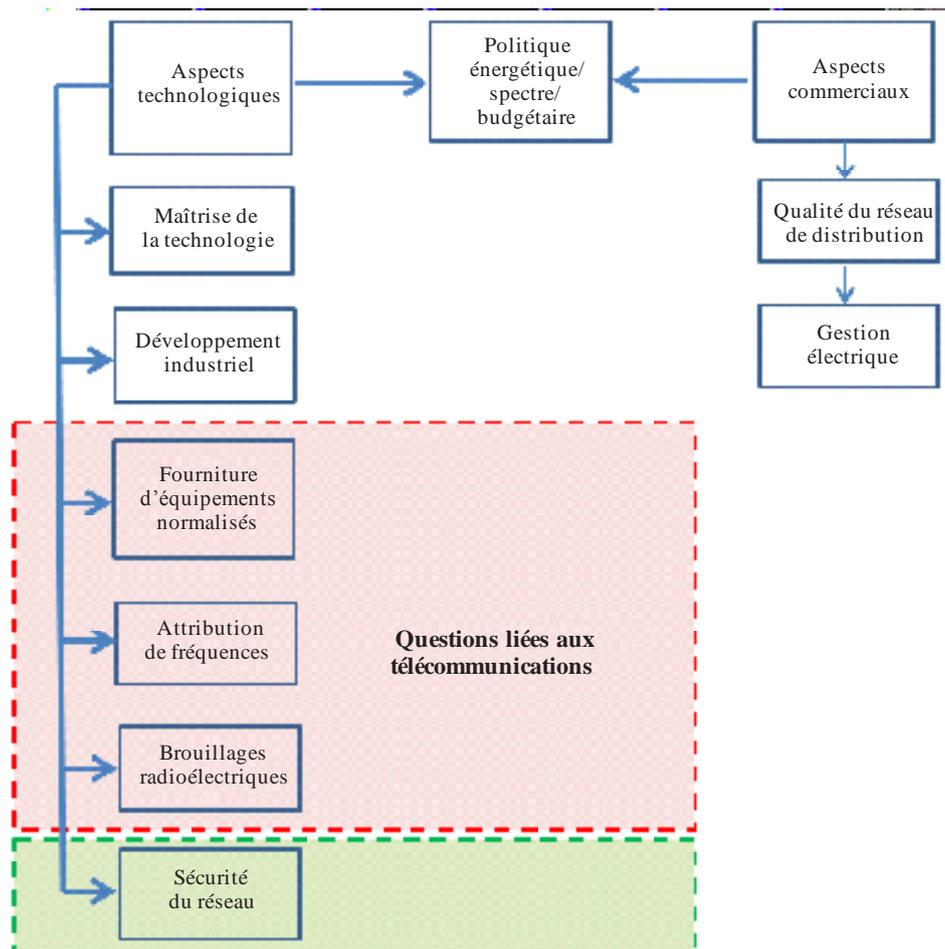
La consommation d'électricité/d'énergie et les prix correspondants sont orientés à la hausse, tout comme le nombre d'abonnés au service mobile.

A6.2 Développement du réseau intelligent et questions à résoudre

Le Gouvernement indonésien a conscience qu'un réseau intelligent pourrait offrir une nouvelle solution pour utiliser efficacement électricité. L'organisme public compétent a donc élaboré un projet pilote de mise en oeuvre d'un réseau intelligent dans l'est de l'Indonésie. Ce projet a été mené par l'agence pour l'évaluation et l'application des technologies, en coopération avec PLN (la compagnie nationale d'électricité).

Le développement du réseau intelligent suppose de résoudre plusieurs questions. Certains aspects technologiques et commerciaux pourraient servir de base dans le cadre de l'élaboration de la politique et de la réglementation.

FIGURE A6.2
Questions à résoudre



Report SM.2351-A6-02

En ce qui concerne la Figure A6.2 et les deux principales questions ayant une incidence sur le développement du réseau intelligent, plusieurs points liés aux télécommunications et aux technologies de l'information nous préoccupent, à savoir:

- La fourniture d'équipement normalisé:**
Donner une description succincte des spécifications techniques des équipements afin de vérifier la compatibilité.
- Les ressources spectrales:**
Mettre au point un plan stratégique concernant l'attribution du spectre et la largeur de bande nécessaire pour cette application. Cette question est importante si l'on veut utiliser efficacement les ressources limitées.
- Les brouillages radioélectriques:**
S'assurer que la mise en oeuvre de cette technologie ne cause pas de brouillages aux autres services.
- La sécurité des réseaux:**
Garantir la sécurité des flux de données.

Etant donné que cette application pourrait être mise en oeuvre dans différents services mobiles (large bande), il est proposé que la commission d'études examine plus avant les exigences liées aux télécommunications, afin d'aider les pays en développement à élaborer un plan stratégique qui les aidera à définir des politiques et des réglementations adaptées concernant la mise en oeuvre des réseaux intelligents.

Annexe 7

Activités de recherche sur les technologies d'accès hertzien pour les réseaux intelligents en Chine

A7.1 Introduction

La technologie hertzienne représente un élément important du système de gestion de l'électricité, grâce auquel différentes informations relatives à la gestion et au contrôle sont transmises dans le cadre d'interactions bidirectionnelles en temps réel. Au départ, les capacités de communication requises par les réseaux de communication utilisés pour la distribution et l'utilisation d'électricité sont généralement faibles. Les dispositifs classiques de communication hertziens à bande étroite, qui utilisent des fréquences attribuées au service fixe, servent très souvent de moyens de communication hertziens privés pour les systèmes de gestion de l'électricité. Avec le développement des réseaux intelligents, l'acquisition de données relatives à l'énergie électrique, la gestion de la demande de charges et les services de vidéosurveillance sur place que suppose le réseau de communication utilisé pour la distribution et l'utilisation de l'électricité se traduisent par des exigences plus importantes en termes de largeur de bande pour les communications, de délais de transmission et de fiabilité. Dans ce contexte, la Chine mène des activités de recherche et construit une nouvelle génération de réseau de communication pour le réseau intelligent. Actuellement, ce nouveau système de communication hertzien comprend des applications pilotes à grande échelle pour le réseau intelligent en Chine.

A7.2 Technologie d'accès hertzien pour le réseau intelligent en Chine

A7.2.1 Introduction

Le réseau hertzien intelligent à large couverture pour l'industrie (SWIN) est conçu pour répondre pleinement aux besoins de services du réseau intelligent. Il repose sur une technologie 4G et utilise la bande de fréquences 223-235 MHz soumise à obligation de licences pour le réseau intelligent. Ce système présente de nombreux avantages par rapport aux systèmes de communication hertziens à bande étroite, par exemple une grande couverture, des capacités d'accès d'abonnés considérables, une grande efficacité spectrale, un fonctionnement en temps réel, une sécurité et une fiabilité considérables, des fonctionnalités performantes de gestion du réseau, etc.

A7.2.2 Principales caractéristiques techniques

Le Bureau national d'administration des radiocommunications de la Chine a fait des attributions dans la bande 223-235 MHz par tranche de 25 kHz. En ce qui concerne les caractéristiques relatives aux spectres, le réseau SWIN permet l'agrégation de plusieurs fréquences à bande étroite discrètes pour assurer la transmission de données large bande. Par ailleurs, la technologie de détection du spectre qui permet de détecter des brouillages entre technologies d'accès radioélectrique dans les bandes adjacentes pour améliorer les possibilités de coexistence est l'une des technologies clés utilisées par

le réseau SWIN. Il est ainsi possible de garantir la coexistence avec les systèmes à bande étroite existants dans la même bande de fréquences 223-235 MHz.

TABLEAU A7.1

Caractéristiques techniques et opérationnelles du réseau SWIN

Fonction	Valeurs
Bandes de fréquences prises en charge, avec ou sans licence (MHz)	Bande de fréquences avec licence: 223-235 MHz
Portée opérationnelle nominale	3-30 km
Fonctionnalités de mobilité (nomade/mobile)	Mobile
Débit de données maximal (sens amont/sens aval si différents)	1,5 (sens amont)/0,5 (sens aval) Mbit/s (1M BW) 13 (sens amont)/5 (sens aval) Mbit/s (8,5M BW)
Méthode duplex (DRF, DRT, etc.)	DRT
Largeur de bande RF nominale	Adaptable: 25 kHz – 12 MHz
Prise en charge de la technique MIMO	Non
Retransmission	HARQ
Correction d'erreur directe	Convolutionnelle, Turbo
Gestion des brouillages	Réutilisation partielle des fréquences, détection du spectre
Gestion de la puissance	Oui
Topologie de connexion	Point à multipoint
Méthodes d'accès au support	Accès aléatoire (fondé ou non sur la contention)
Méthodes d'accès multiple	SC-FDMA (sens amont) et OFDMA (sens aval)
Découverte et méthode d'association	Découverte autonome, association grâce au support
Méthodes de qualité de service	Différentiation de la qualité de service (5 classes prises en charge, modulable)
Détection de l'emplacement	Oui
Chiffrement	ZUC
Authentification/protection contre les réexecutions	Oui
Echange de clés	Oui
Détection des noeuds malveillants	Oui
Identification unique de l'équipement	15 chiffres (IMEI)

A7.2.3 Production et application industrielles

Actuellement, le système SWIN est composé de puces en bande de bases, de terminaux, de station de base, d'un réseau central et des équipements de gestion du réseau. Il est déployé dans les réseaux de communication utilisés pour la distribution et l'utilisation d'électricité. Jusqu'à présent, des réseaux expérimentaux SWIN ont été déployés dans 13 provinces de Chine et fournissent au réseau intelligent des services d'acquisition d'informations relatives à l'électricité, de commande de la charge, d'automatisation de la distribution, etc. Après une période de test, il est établi que le système SWIN peut répondre aux besoins de services du comptage intelligent et de l'automatisation de la distribution.

A7.2.4 Normalisation

Actuellement, l'entreprise qui exploite le réseau intelligent en Chine (State Grid Corporation of China) a déjà commencé à élaborer des normes pour le système SWIN. Le Centre national de test et de contrôle des émissions (organisation nationale chargée de la gestion du spectre des fréquences radioélectriques) et l'Association de normalisation des communications de Chine (CCSA) élaborent actuellement des normes radioélectriques applicables au système SWIN, afin de garantir la coexistence entre les différents systèmes fonctionnant dans la même bande. Par ailleurs, la normalisation du système SWIN au niveau national sera menée à bien sous peu.

A7.3 Conclusion

Les activités de recherche menées par la Chine sur les technologies d'accès hertzien pour le réseau intelligent sont en cours. Le système SWIN peut permettre de répondre aux besoins de communications hertziennes du réseau intelligent et, ainsi, de réduire le coût de sa construction et de son exploitation.
